



UM MÉTODO PARA MENSURAR A INFLUÊNCIA DA HIDROVIA NA  
EFICIÊNCIA E NA RESILIÊNCIA DE SISTEMA DE TRANSPORTES DE  
*COMMODITIES*

Diana Mery Messias Lopes

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Transportes.

Orientador: Marcelino Aurelio Vieira da Silva

Rio de Janeiro

Março de 2021

UM MÉTODO PARA MENSURAR A INFLUÊNCIA DA HIDROVIA NA  
EFICIÊNCIA E NA RESILIÊNCIA DE SISTEMA DE TRANSPORTES DE  
*COMMODITIES*

Diana Mery Messias Lopes

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ  
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM  
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Orientadores: Marcelino Aurelio Vieira da Silva

Aprovada por: Prof. Marcelino Aurelio Vieira da Silva

Prof. Hostilio Xavier Ratton Neto

Prof. Ilton Curty Leal Junior

Prof. José Carlos Cesar Amorim

Prof. Lino Guimarães Marujo

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2021

Lopes, Diana Mery Messias

Um método para mensurar a influência da Hidrovia na Eficiência e na Resiliência de Sistema de Transportes de *Commodities* / Diana Mery Messias Lopes – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2021.

XII, 172 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Marcelino Aurelio Vieira da Silva.

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2021.

Referências Bibliográficas: p. 142 - 163.

1. Hidrovias 2. Eficiência 3. Resiliência 4. Sistema de Transportes. I. Silva, Marcelino Aurelio Vieira da. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Título.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por todas as oportunidades e pela coragem e resiliência ao enfrentar os obstáculos da vida.

A toda minha família pelo incentivo, acolhimento, carinho e conforto de todas as horas.

Aos amigos pelo apoio e amizade dispensada durante o processo de aprendizado.

Ao Programa de Engenharia de Transportes da COPPE/UFRJ, docentes e funcionários, por ter oferecido todo o apoio necessário para a realização deste trabalho.

Ao Prof. Marcelino Aurelio Vieira da Silva pela dedicação, compreensão e ajuda demonstradas na condução da orientação desta tese.

A cada professor da Banca Examinadora, D. Sc Hostilio Xavier Ratton Neto, D. Sc. Ilton Curty Leal Junior, D. Sc. José Carlos Cesar Amorim, e D. Sc. Lino Guimarães Marujo, pela competência e pela dedicação de precioso tempo e atenção na análise, crítica e avaliação da presente Tese.

A CAPES pelo apoio financeiro e auxílios concedidos ao longo desses quatro anos de curso, sem os quais esse trabalho não poderia ter sido realizado.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

UM MÉTODO PARA MENSURAR A INFLUÊNCIA DA HIDROVIA NA EFICIÊNCIA  
E NA RESILIÊNCIA DE SISTEMA DE TRANSPORTES DE *COMMODITIES*

Diana Mery Messias Lopes

Março/2021

Orientador: Marcelino Aurelio Vieira da Silva

Programa: Engenharia de Transportes

A evolução na produção brasileira de soja e de milho fez com que o País fosse reconhecido como um dos principais *players* no comércio internacional do agronegócio. Entretanto, a ineficiência do sistema logístico prejudica o desempenho do setor, promovendo perigos ou ameaças e podendo ocasionar consequências indesejáveis. O objetivo desta tese é propor um método para mensurar a influência da hidrovia Tapajós-Teles Pires no desempenho sustentável de transportes e na resiliência do sistema de transporte, considerando os três pilares da sustentabilidade. Dentre as 21 rotas de exportação com características intermodal e unimodal avaliadas, três utilizam a hidrovia Tapajós-Teles Pires para escoar a produção de soja e milho entre vinte e três centroides localizados no estado de Mato Grosso e 11 portos marítimos brasileiros. Também foram definidos cenários com o transporte rodoviário e hidroviário (sem o ferroviário) e cenários para avaliar o desempenho da demanda da hidrovia, se baseando no modelo DEA BCC, orientado a *input*. O que resultou em quatro diferentes análises que impactam no sistema de transporte. O estudo dessas rotas e as combinações dos modos rodoviário e hidroviário apresentaram os melhores índices de eficiência e resiliência, comprovando que essa hidrovia é um elemento chave no sistema de transportes brasileiro com a finalidade de escoar a produção de soja e milho com destino à exportação.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

A METHOD FOR MEASURING THE INFLUENCE OF THE HYDROWAY ON THE EFFICIENCY AND RESILIENCE OF THE COMMODITIES TRANSPORT SYSTEM

Diana Mery Messias Lopes

March/2021

Advisor: Marcelino Aurelio Vieira da Silva

Department: Transportation Engineering

The evolution in Brazilian soy and corn production has led the country to be regarded as one of the main players in the international agribusiness trade. However, the inefficiency of the logistics system impairs the performance of the sector, promoting dangers or threats and may cause undesirable consequences. The objective of this thesis is to propose a method to measure the influence of the Tapajós-Teles Pires waterway on sustainable transport performance and resilience of the transport system, considering the three pillars of sustainability. Among the 21 export routes with intermodal and unimodal characteristics evaluated, three use the Tapajós-Teles Pires waterway to transport soybean and corn production between twenty and three centroids located in the state of Mato Grosso and 11 Brazilian seaports. Scenarios were also defined with road and waterway transportation (without the railway) and scenarios to assess the performance of the waterway demand, based on the DEA BCC model, oriented to input. This resulted in four different analysis that impact the transport system. The study of these routes and the combinations of road and waterway modes showed the best efficiency and resilience rates, proving that this waterway is a key element in the Brazilian transport system with the purpose of transporting the production of soy and corn for export.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. Hipótese .....	4
1.2. Objetivos geral e específicos .....	4
1.3. Justificativa .....	5
1.4. Delimitação da pesquisa .....	6
1.5. Estrutura da pesquisa .....	6
<b>2. IMPORTÂNCIA DA HIDROVIA.....</b>	<b>8</b>
2.1. Considerações iniciais.....	8
2.2. A Navegação de interior no mundo .....	8
2.3. A Navegação de interior no Brasil.....	10
2.3.1. Programas de investimento no transporte hidroviário.....	12
2.4. As vantagens do modo de transporte hidroviário .....	15
2.5. Bacias Hidrográficas Brasileira .....	21
2.6. A Hidrovia do rio Tapajós e do rio Teles-Pires .....	25
2.7. Considerações finais .....	28
<b>3. EFICIÊNCIA ECONÔMICA, AMBIENTAL E SOCIAL NOS TRANSPORTES. 29</b>	
3.1. Eficiência e sustentabilidade.....	29
3.2. Sustentabilidade aplicada no transporte de carga .....	30
3.2.1. Sistemas de transportes sustentáveis .....	32
3.3. Medidas de desempenho econômica, ambiental e social.....	33
3.4. Indicadores para avaliação de desempenho .....	38
Fonte: Elaboração própria.....	42
3.5. Considerações finais .....	43
<b>4. RESILIÊNCIA NO SISTEMA DE TRANSPORTE.....</b>	<b>44</b>
4.1. Considerações iniciais.....	44
4.2. A Relação entre os conceitos de resiliência.....	44
4.3. Relação entre perigos ou ameaças, riscos e vulnerabilidade .....	53
4.4. Ameaças do sistema de transporte de Mato Grosso.....	58
4.4.1. Mudanças climáticas e desastres naturais .....	59
4.4.2. Segurança .....	60

4.4.3. Pessoas .....	60
4.4.4. Transportes, dinheiro, infraestrutura .....	62
4.4. Métodos para mensurar a resiliência e relacionar com a eficiência.....	63
4.5. Considerações finais .....	68
<b>5. PROPOSTA DO MÉTODO .....</b>	<b>69</b>
5.1. Passo 0 - Definição de escopo e de infraestrutura .....	71
5.2. Passo 1 - Característica da área de estudo (sistemas de transportes e cargas).....	71
5.3. Passo 2 - Indicadores econômicos, ambientais e sociais .....	71
5.4. Passo 3 - Definir os indicadores .....	72
5.5. Passo 4 - Análise da eficiência .....	72
5.5.1. Modelo análise envoltória de dados (DEA) .....	72
5.5.2. Modelo CCR .....	74
5.5.3. Modelo BCC .....	77
5.6. Passo 5 - Identificação de possíveis ameaças .....	80
5.7. Passo 6 - Definição das ameaças .....	80
5.8. Passo 7 - Criação de cenários para análise da resiliência .....	80
5.9. Passo 8 - Comparação dos cenários de sistemas de transportes com e sem ameaça .	81
5.10. Passo 9 - Eficiência dos pares origens-destinos com ameaça.....	81
5.11. Passo 10 - Verificação da resiliência .....	81
<b>6. APLICAÇÃO DO MÉTODO.....</b>	<b>81</b>
6.1. Passo 0 .....	81
6.2. Passo 1 .....	82
6.2.1. Caracterização do estudo de caso.....	82
6.3. Passo 2 .....	99
6.4. Passo 3 .....	100
6.4.1. Seleção das variáveis.....	100
6.5. Passo 4 .....	106
6.5.1. Modelagem matemática .....	112
6.5.2. Análise dos resultados.....	112
6.6. Passo 5 .....	118
6.7. Passo 6 .....	118

6.8. Passo 7 .....	120
6.9. Passo 8 .....	132
6.10. Passo 9 .....	136
6.11. Passo 10 .....	137
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>142</b>
<b>APÊNDICE I.....</b>	<b>164</b>
<b>APÊNDICE II .....</b>	<b>165</b>
<b>APÊNDICE III.....</b>	<b>166</b>
<b>APÊNDICE IV .....</b>	<b>167</b>
<b>APÊNDICE V .....</b>	<b>168</b>
<b>APÊNDICE VI.....</b>	<b>169</b>
<b>APÊNDICE VII .....</b>	<b>170</b>
<b>APÊNDICE VIII.....</b>	<b>171</b>
<b>APÊNDICE IX.....</b>	<b>172</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Extensão Total de Hidrovias no Mundo (em km) .....	9
<b>Figura 2:</b> Cruzamento de Hidrovias .....	10
<b>Figura 3:</b> Composição da Matriz do Transporte de Carga no Brasil.....	11
<b>Figura 4:</b> Capacidade por modo de transporte .....	16
<b>Figura 5:</b> Comboio de Soja .....	17
<b>Figura 6:</b> Custo referencial de implantação de vias de transporte.....	18
<b>Figura 7:</b> Consumo comparativo de combustível.....	19
<b>Figura 8:</b> Comparação entre modais quanto à emissão de CO.....	20
<b>Figura 9:</b> Investimentos por modo de transportes – 2018 .....	21
<b>Figura 10:</b> Divisão Hidrográfica Nacional .....	22
<b>Figura 11:</b> Rede Hidroviária Economicamente Navegável.....	23
<b>Figura 12:</b> Hidrovia Tapajós-Teles Pires .....	27
<b>Figura 13:</b> Custos para implantar a hidrovia Tapajós-Teles Pires .....	27
<b>Figura 14:</b> Indicadores Econômicos.....	40
<b>Figura 15:</b> Indicadores Ambientais .....	41
<b>Figura 16:</b> Indicadores Sociais .....	42
<b>Figura 17:</b> Propriedades da Resiliência.....	52
<b>Figura 18:</b> Relação entre os conceitos.....	68
<b>Figura 19:</b> Método para avaliar eficiência em rotas hidroviárias e resiliência do sistema de transportes.....	70
<b>Figura 20:</b> Representação de uma DMU .....	73
<b>Figura 21:</b> As principais hidrovias do Brasil.....	82
<b>Figura 22:</b> Principais portos marítimos brasileiros exportadores de soja.....	85
<b>Figura 23:</b> Densidade da malha rodoviária pavimentada por país (valores em km/1.000 km <sup>2</sup> ) .....	88
<b>Figura 24:</b> Mapa das Rodovias Utilizadas para escoamento da Produção de Mato Grosso .....	89
<b>Figura 25:</b> Classificação Geral da Situação das Rodovias do estado de Mato Grosso .....	90
<b>Figura 26:</b> Mapa das Ferrovias Utilizadas para Escoamento da Produção de Mato Grosso .....	92
<b>Figura 27:</b> Vias economicamente navegáveis (2018) .....	94
<b>Figura 28:</b> Corredores Estratégicos do estado de Mato Grosso .....	98
<b>Figura 29:</b> Detalhamento dos Corredores Estratégicos do estado de Mato Grosso .....	99
<b>Figura 30:</b> As variáveis do Problema .....	104
<b>Figura 31:</b> Modelo DEA adotado neste estudo .....	112
<b>Figura 32:</b> Índice da Composta Normalizada da soja .....	114
<b>Figura 33:</b> Ameaças que podem causar a ruptura e a incerteza da demanda no sistema de transportes de Mato Grosso .....	119

<b>Figura 34:</b> Aplicação da Resiliência.....	121
<b>Figura 35:</b> Cenários das Alternativas de Transportes.....	123
<b>Figura 36:</b> Detalhamento dos cenários dos fluxos de carga.....	124
<b>Figura 37:</b> Cálculo dos Indicadores de Resiliência .....	131
<b>Figura 38:</b> Indicadores econômicos, ambientais e sociais no Cenário 0 das alternativas de transportes com os Cenários 0, 1, 2, 3, 4 da variação da demanda .....	133
<b>Figura 39:</b> Eficiência Cenário 0, no Cenário 1 e no Cenário 2 das alternativas de transportes.....	136
<b>Figura 41:</b> Verificação da resiliência .....	138

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Planos relacionados ao transporte hidroviário.....	13
<b>Tabela 2:</b> Levantamento das necessidades de infraestrutura das principais hidrovias.....	14
<b>Tabela 3:</b> Indicadores econômicos, ambientais e sociais .....	35
<b>Tabela 4:</b> Critérios para pesquisa dos conceitos da resiliência e das ameaças associadas aos sistemas de transportes .....	44
<b>Tabela 5:</b> Inter-relação entre os conceitos de resiliência e as propriedades .....	46
<b>Tabela 6:</b> Detalhamento dos conceitos relacionados com cada propriedade .....	51
<b>Tabela 7:</b> Ameaças aplicáveis a sistemas de transportes.....	55
<b>Tabela 8:</b> Métodos de medição da resiliência dos sistemas de transportes .....	64
<b>Tabela 9:</b> Matriz em percentual da exportação de soja e de milho no estado de Mato Grosso.....	84
<b>Tabela 10:</b> Rotas utilizadas para escoar a produção de soja dos centros de produção aos portos de destino.....	86
<b>Tabela 11:</b> Estado das Rodovias de Mato Grosso .....	90
<b>Tabela 12:</b> Características dos terminais da ALLMN no Mato Grosso .....	93
<b>Tabela 13:</b> Escoamento de Grãos do estado de Mato Grosso por Porto (Participação %) em 2020 .....	96
<b>Tabela 14:</b> Resultado da pesquisa de artigos que aplicaram o método DEA para analisar sistemas de transporte de carga .....	102
<b>Tabela 15:</b> Custo de Acidente de cada Modo de Transporte.....	105
<b>Tabela 16:</b> Cenário atual com os modos rodoviário, ferroviário e hidroviário .....	108
<b>Tabela 17:</b> Continuação do cenário atual com os modos rodoviário, ferroviário e hidroviário .....	110
<b>Tabela 18:</b> Eficiência Padrão ds DMUs 1, 2 e 6 que utilizam a hidrovia Tapajós-Teles Pires .....	117
<b>Tabela 19:</b> Variação do percentual do fluxo de carga de soja .....	125
<b>Tabela 20:</b> Explicação dos Percentuais dos fluxos de carga da soja .....	127
<b>Tabela 21:</b> Variação do percentual do fluxo de carga do milho.....	128
<b>Tabela 22:</b> Explicação dos Percentuais dos fluxos de carga do Milho.....	130

## 1. INTRODUÇÃO

A produção mundial de soja na safra 2020 atingiu 337,298 milhões de toneladas e a de milho, 1,05 bilhões, sendo que, respectivamente, 78,82% de soja (96.676 milhões de toneladas) e 31,89% de milho (352,441 milhões) saíram das lavouras dos Estados Unidos (USDA, 2020). O Brasil, segundo maior produtor mundial de soja e o terceiro de milho, foi responsável por 37,01% da produção mundial de soja (124,845 milhões de toneladas) e 9,16% de milho (102,503 milhões de toneladas), dos quais 50,75% de soja (84,000 milhões de toneladas) e 19,96% de milho foram exportados (34,000 milhões de toneladas) (USDA, 2020 e BRASIL, 2020).

Situado na região Centro-Oeste brasileira, o estado de Mato Grosso (MT) é o principal produtor de soja e de milho, respondendo por 28,74% da produção nacional, com um volume de 35,885 milhões de toneladas de soja, e 23,38% da produção nacional, com um volume de 24.596,2 milhões de toneladas de milho na safra 2016/17 (CONAB, 2020, COÊLHO, 2020)

Diante das dimensões continentais do País, a principal desvantagem é o predomínio do modo de transporte rodoviário. Um exemplo disto são as rotas de exportação entre o MT e o porto de Santos, principal porta de saída desta *commodity* em 2017, com uma distância média de cerca de dois mil km. Além disto, cerca de 60% da soja transportada utilizam as rodovias federais, tais como a BR-163 e a BR-364 (CNT, 2017).

Além da dependência do transporte rodoviário, CNT (2018) afirma que a qualidade da infraestrutura é considerada regular, ruim ou péssima em 60,8%, de um total de 1,7 milhões de quilômetros de rodovias, o que torna a infraestrutura do sistema de transportes da soja brasileira inadequada.

A deficiência da infraestrutura de transporte na região Centro-Oeste, onde fica localizado o estado do Mato Grosso, se manifesta de diversas formas, entre as quais se destacam, no caso do setor agropecuário: malha de transportes insuficiente para atender adequadamente a todas as regiões produtoras; pouca manutenção da malha existente; opção pelo modo rodoviário de transporte, que é pouco indicado para as grandes distâncias dos centros de consumo no Brasil ou dos portos e para produtos de baixo valor agregado e em

grande quantidade, como o agropecuário; pouca utilização da intermodalidade de transporte; e baixa disponibilidade de armazéns nas propriedades rurais da região (IMEA, 2015).

Todas essas deficiências identificadas no transporte rodoviário de produtos agrícolas são percebidas nos custos associados ao transporte da soja e de milho que, no caso brasileiro, pode ser até três vezes superior aos praticados no mercado do agronegócio dos EUA. Como exemplo, os produtores situados em Sorriso (MT) distam 2.171 km do porto de Santos (SP), com um custo de transporte de US\$ 80,841 por tonelada transportada. Já os produtores de Iowa (EUA), que se situam à 1.576 km do porto de New Orleans (Louisiana), têm um custo de US\$ 33,98 por tonelada transportada, representando uma diferença de 237,90% na comparação com os custos brasileiros (CONAB, 2019).

Além dos impactos econômicos, como o custo, o transporte é a operação logística mais prejudicial ambientalmente e tem sido reconhecida como um grande consumidor de energia responsável por uma grande parcela das emissões globais de GEE e acidentes de trânsito (LITMAN & BURWELL, 2006, ROGERS & WEBER, 2011, WU & DUNN, 1995). Na dimensão ambiental, a combustão de combustíveis fósseis por modos de transporte responde por 24% das emissões mundiais de carbono (EPA, 2019), incluindo 27% das emissões de gases de efeito estufa (GEE) nos Estados Unidos e 11,9% das emissões no Brasil (AZEVEDO *et al.*, 2018). Na dimensão social, um recorde de 50 milhões pessoas são feridos e mais de 1.250.000 pessoas morrem em estradas mundiais a cada ano (WHO, 2018).

Nesse contexto, além das deficiências da infraestrutura de transportes interferirem no custo, no meio ambiente e na segurança, elas também podem representar perigos ou ameaças, ocasionando consequências indesejáveis em uma rede de transportes. Esses perigos ou ameaças vão desde condições meteorológicas adversas a obras rodoviárias mal planejadas, bem como danos intencionais decorrentes de conflitos nas relações de trabalho ou ações terroristas e outros tipos de falhas e atrasos que possivelmente se desenvolvam, podendo também trazer sérias consequências para a sociedade, caso um componente ou subsistema crítico falhe (MATTSSON *et al.*, 2015).

De um modo geral, o transporte de cargas é um elemento vital para a prosperidade econômica de qualquer país, pelo qual uma grande variedade de produtos tem a necessidade de ser transportado de maneira eficiente para o mercado consumidor, para os setores da

---

<sup>1</sup> Segundo CONAB (2018), o valor do frete praticado no transporte da soja em 2017 foi de R\$ 305,00.

indústria e para as redes de comércio internacional (SAMIMI *et al.*, 2010). A sua interrupção pode ter impactos de grande escala na economia e na vida humana, como demonstrado em eventos notáveis – como inundações na Tailândia em 2011 e o Furacão Sandy em 2012 (JAROSZWESKI *et al.*, 2014).

Nesta perspectiva, a resiliência dos sistemas de transporte frente a desastres naturais ou causados pelo homem é importante, pois permite que o sistema continue a funcionar mesmo que um componente quebre, ou se um determinado recurso se torne escasso (GAITANIDOU *et al.*, 2017) e VTPI (2014). No entanto, a resiliência do sistema de transporte tem como a habilidade de absorver perturbações, manter sua estrutura básica e função, e se recuperar para um nível de serviço exigido dentro de um tempo e custos aceitáveis após ser afetado pela interrupção (WAN *et al.*, 2017).

A fim de melhorar a sustentabilidade dos sistemas de transporte, cujo o conceito é atender às necessidades de transporte e mobilidade, sem comprometer a capacidade das gerações futuras para atender às suas próprias necessidades Richardson (1999), é necessário conhecer os seus impactos e utilizar indicadores para avaliá-los sobre as dimensões econômicas, ambientais e sociais, de modo que, posteriormente, as políticas e estratégias de sustentabilidade sejam desenvolvidas para diminuir os impactos avaliados (COTTRILL & DERRIBLE, 2015, DOBRANSKYTE-NISKOTA, 2009).

Portanto, um sistema de transporte sustentável implica no equilíbrio mais adequado (ótimo) das dimensões econômica, ambiental, social WCED (1987), viabilizando um aumento da qualidade da prestação de serviços logísticos (nível de serviço), do desenvolvimento econômico futuro, do meio ambiente e do bem-estar social (STEG & GIFFORD, 2005).

Wiśnicki & Dyrđ (2016) afirmam que a integração entre diferentes alternativas de transporte poderia maximizar suas potencialidades e minimizar seus efeitos negativos. Flodén & Williamsson (2016) citam que as alternativas consideradas *eco-friendly*, como ferrovias e hidrovias, poderiam ser utilizadas nos trechos mais longos, enquanto o transporte rodoviário teria o papel de apoio.

Nesse contexto, o Brasil dispõe de uma das maiores costas litorâneas do mundo, com 63 mil km de vias potencialmente navegáveis, tornando o transporte por hidrovias do interior brasileiro uma potencialidade natural (CNT, 2019). As hidrovias de interior mais importantes

do Brasil são: hidrovia do rio Madeira, do Tapajós, do Solimões-Amazonas, a hidrovia do Sul, a hidrovia do Paraguai, a Tocantins-Araguaia e Paraná-Tietê (ANTAQ, 2019).

Entretanto, no Brasil, a hidrovia Tapajós-Teles Pires, objeto de estudo desta tese, é navegável cerca de 280 km, representando apenas 13,33% de extensão do rio Tapajós (PNIH, 2013). Sua posição geográfica é estratégica, pois, sua extensão total é de 1576 km e conectaria grandes centros de produção agrícola do estado de Mato Grosso (MT) aos portos do norte do País (PHE, 2013). Com isso, tem-se as seguintes questões de pesquisa; como mensurar a eficiência nas dimensões econômicas, ambientais e sociais das rotas que utilizam a hidrovia Tapajós-Teles Pires, caso fosse navegável em toda sua extensão? E como mensurar o impacto econômico, ambiental e social na eficiência das rotas de transportes e na resiliência do sistema de transporte no estado do Mato Grosso caso existisse algumas ameaças e causasse a interrupção no modo de transporte ferroviário e a incerteza da demanda na hidrovia Tapajós-Teles Pires?

### **1.1.Hipótese**

A hipótese central deste trabalho baseia-se na possibilidade da aplicação de um método que permita mensurar a eficiência nas dimensões econômicas, ambientais e sociais das rotas que utilizam a hidrovia Tapajós-Teles Pires, caso fosse navegável em toda sua extensão e a resiliência das rotas que utilizam a hidrovia Tapajós-Teles Pires e do sistema de transporte no estado do Mato Grosso caso existisse algumas ameaças que causasse a interrupção no modo de transporte ferroviário e a incerteza da demanda na hidrovia Tapajós-Teles Pires

### **1.2.Objetivos geral e específicos**

O objetivo geral deste trabalho é propor e aplicar um método que permita mensurar e relacionar a influência da hidrovia Tapajós- Teles Pires na eficiência e na resiliência das rotas e do sistema de transporte de *commodities*, visando ao monitoramento dos impactos econômicos, ambientais e sociais.

Para atingir os objetivos será necessário:

- Levantar a bibliografia e o referencial teórico que retratem o tema da pesquisa;
- Comparar as alternativas de transportes hidroviários potenciais (alternativas que utilizam a hidrovia Tapajós-Teles Pires) com as alternativas existentes

- Avaliar os impactos econômicos, ambientais e sociais da hidrovía Tapajós–Teles Pires no escoamento da produção de grãos no Estado de Mato Grosso;
- Avaliar a relação da eficiência e da resiliência, caso ocorresse uma incerteza na demanda e uma interrupção no transporte ferroviário.

Assim, acredita-se que este trabalho possa contribuir para seleção de rotas com o melhor desempenho e as mais resilientes do estado de Mato Grosso até os principais portos de exportação do Brasil.

### **1.3. Justificativa**

Esta tese propõe realizar um método que permita mensurar e relacionar a influência da hidrovía Tapajós- Teles Pires na eficiência e na resiliência das rotas e do sistema de transporte de *commodities*, visando ao monitoramento dos impactos econômicos, ambientais e sociais. Para atender a essa necessidade, foi elaborado um método em 10 passos. Um método foi utilizado, pois apresenta um conjunto de processos pelos quais se torna possível conhecer uma determinada realidade, produzir determinado objeto ou desenvolver certos procedimentos ou comportamentos (OLIVEIRA, 1999).

Nexte contexto, o método começa pela definição de escopo da nova infraestrutura a ser avaliada para o sistema de transportes (Passo 0), em seguida, é detalhada a área de estudo, é identificado as origens, destinos, os tipos de carga que podem influenciar no método e as questões referentes à rede de transportes, incluindo os terminais e suas ligações, assim como as alternativas modais disponíveis e os respectivos fluxos de movimentação de carga (Passo1), após esse detalhamento, levantou-se por revisão bibliográfica os possíveis indicadores de cada dimensão da sustentabilidade (Passo 2), e definidos os indicadores de cada dimensão da sustentabilidade (Passo 3). Após os indicadores definidos, realiza as medições da eficiência das rotas de transportes, identifica e verifica se os pares origens-destinos potenciais são eficientes na infraestrutura proposta (Passo 4), em caso positivo, identifica as possíveis ameaças por meio do levantamento bibliográfico (Passo 5) e define as ameaças (Passo 6). Após o passo 6, é criado os cenários para análise da resiliência (Passo 7), e comparados os cenários de sistemas de transportes com e sem ameaça (Passo 8). Em seguida, é realizado o cálculo da eficiência dos pares origens-destinos dos cenários com

ameaça (Passo 9) e por fim identificar quais cenários conseguiram suportar, ser resilientes, com os diferentes cenários (Passo 10).

Diante do exposto, este trabalho se justifica pela importância que o tema apresenta para o estado do Mato Grosso e para o país e porque visa apresentar alternativas que reduzam os impactos no meio ambiente e que contribuam para a melhoria da segurança ao mesmo tempo em que procuram garantir a sua eficiência econômica.

#### **1.4.Delimitação da pesquisa**

Este estudo tem como objetivo propor um método para mensurar o desempenho da hidrovía Tapajós-Teles Pires e o nível de resiliência, caso ocorra alguma ameaça que afete as rotas de transportes e o sistema de transporte. De forma a delimitar o método, foram selecionadas algumas ameaças do estado do Mato Grosso que podem interromper o sistema de transporte e impactar na demanda de transporte. A justificativa para escolha dessas ameaças é apresentada no Capítulo 4.

A aplicação do método utiliza a Análise Envoltória de Dados (DEA) como ferramenta no auxílio das análises para mensurar a influência da hidrovía Tapajós-Teles Pires no desempenho da eficiência e na resiliência monitorando os impactos ambientais, econômicos e sociais

Na mensuração da resiliência na análise do sistema de transporte, foi possível analisar o impacto ambiental, econômico e social nos cenários de uma interrupção do transporte ferroviário e na incerteza da demanda. Já na análise das rotas de transportes, foi possível analisar apenas os cenários relacionados a interrupção do transporte ferroviário, pois os cenários relacionados a variação da demanda não interferem no desempenho das rotas de transportes.

#### **1.5.Estrutura da pesquisa**

O presente trabalho foi organizado em capítulos, de acordo com os conteúdos, buscando apresentar o estabelecimento de um método para mensurar e relacionar a influência da hidrovía Tapajós-Teles Pires na eficiência e relacionar a eficiência com a resiliência das rotas e do sistema de transporte, visando a analisar os impactos econômicos, ambientais e sociais.

O Capítulo 1 apresenta a pesquisa, sua problemática e motivação, as hipóteses, os objetivos, a justificativa do tema, a delimitação considerada e a estrutura da pesquisa.

O Capítulo 2 trata da importância da hidrovia, detalhando como é a navegação de interior no mundo e no Brasil; como é o investimento, as vantagens do modo de transporte hidroviário e as características das bacias hidrográficas brasileiras.

O Capítulo 3 detalha os conceitos de eficiência, sustentabilidade e apresenta os indicadores econômicos, ambientais e sociais.

O Capítulo 4 analisa o referencial teórico da resiliência no sistema de transporte, identificando os conceitos e as ameaças relacionadas ao sistema de transporte.

O Capítulo 5 detalha a metodologia empregada para o cálculo do desempenho das rotas que utilizam a hidrovia e comparam com aquelas que não a utilizam para escoar a produção de soja, tendo como origem os municípios centroides de Mato Grosso até os portos marítimos brasileiros (destinos), visando à análise dos aspectos econômicos ambientais e sociais. Também foi realizada também a mensuração da resiliência e a relação entre a Resiliência a Eficiência.

## **2. IMPORTÂNCIA DA HIDROVIA**

### **2.1. Considerações iniciais**

O transporte hidroviário é o tipo de transporte aquaviário para qual as hidrovias são de grande importância. O modo aquaviário utiliza-se de veículos que usam a água para sua locomoção e é apontado como o meio de transporte mais indicado para transportar grandes quantidades de mercadoria a grandes distâncias, englobando os transportes marítimo, fluvial e lacustre (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2015; POMPERMAYER *et al.*, 2014).

De acordo com o Ministério dos Transportes (2015), o transporte hidroviário de carga no Brasil se caracteriza por: grande capacidade de carga que se transporta, é um transporte de baixo custo, sua manutenção é feita a um baixo custo, tem baixa flexibilidade, é um transporte lento, sempre influenciado pelas condições climáticas e, dependendo da análise, sua implantação é feita a um baixo custo.

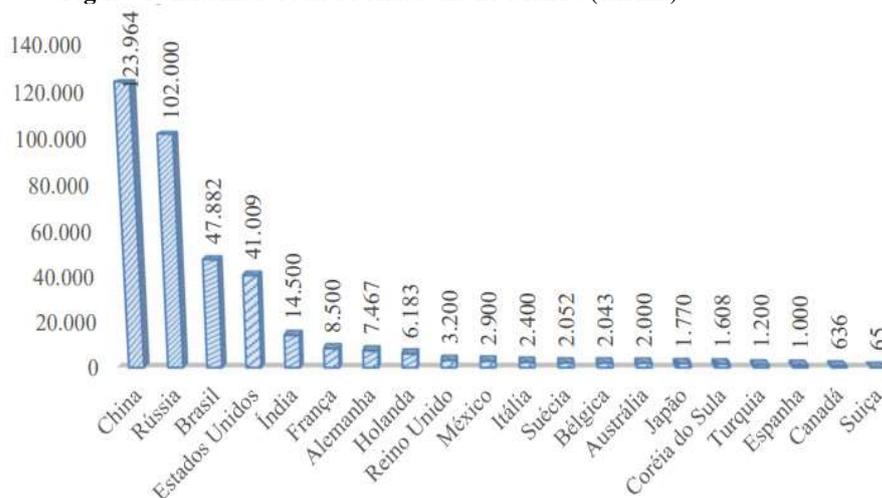
Neste capítulo, serão tratadas questões relativas principalmente à navegação interior, focando no transporte de cargas. Na segunda seção, há uma breve definição de navegação interior, seguida por uma apresentação das principais hidrovias no mundo e das regiões hidrográficas brasileiras. As vantagens do transporte hidroviário serão detalhadas na quarta seção. As características da frota brasileira alocada à navegação interior serão apontadas na quinta seção. E a sexta discorre sobre a hidrovia Tapajós-Teles Pires. A última seção é dedicada às considerações finais.

### **2.2. A Navegação de interior no mundo**

Segundo o Ministério dos Transportes (2015), o transporte hidroviário é o modo de transporte utilizado nas hidrovias para transporte de pessoas e mercadorias. As hidrovias de interior podem ser rios, lagos e lagoas navegáveis que receberam algum tipo de melhoria como sinalização e balizamento para que um determinado tipo de embarcação possa trafegar com segurança por essa via. As hidrovias são de grande importância, visto que, por meio delas, consegue-se transportar grandes quantidades de mercadoria a grandes distâncias. Nelas são transportados produtos como: minérios, cascalhos, areia, carvão, ferro, grãos e outros produtos não perecíveis (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2015).

Segundo Fernandes *et al.* (2005), o potencial de vias navegáveis disponível no mundo é de aproximadamente 450 mil km. Em extensão, as hidrovias brasileiras classificam-se na terceira posição entre as maiores do mundo, como é observado na Figura 2.

**Figura 1:** Extensão Total de Hidrovias no Mundo (em km)



**Fonte:** Vianna (2007) e CNT (2017).

Os Estados Unidos possuem uma vasta rede hidroviária interior com 41.009 km de vias navegáveis, 608 barragens e 257 eclusas em 212 locais diferentes, destacando-se os maiores: Missouri (3.767 km), Mississipi (3.734 km) e Colorado (2.334 km). As hidrovias são responsáveis por 43% do movimento dos 400 principais portos americanos, desempenhando papel fundamental no transporte eficiente de grãos, oleaginosas, fertilizantes e carvão nos EUA (SANTOS, 2020).

A Europa possui 26 mil km de hidrovias, sendo 40% destas formadas graças a interligações e canais. Dentre os países que mais usam o transporte hidroviário na Europa Ocidental, destacam-se a França, com 8.500 km de hidrovias, dos quais 1.800 km de grande gabarito, a Alemanha, com 7.467 km, a Holanda, com 6.183 km e a Bélgica, com 2043 km. Cerca de 11.500 embarcações registradas percorrem as hidrovias da Europa, de balsas graneleiras e comboios a navios de passageiros e de lazer, administradas por 7.500 empresas ligadas à navegação interior, com cerca de 30.500 pessoas empregadas (SANTOS, 2017; VIANNA, 2007 e CNT, 2017).

O Reno é um rio com 1.320km de comprimento, sendo 884 km a navegabilidade da hidrovia, da Basiléia, na Suíça, até Rotterdam, na Holanda. Atravessa ou acompanha seis países: Suíça, Áustria, Liechtenstein, Alemanha, França e os Países Baixos. O porto de

Rotterdam é o maior complexo portuário da Europa, localizado no delta do Reno e Mosa, na Holanda, recebendo por ano cerca de 30 mil navios e 200 mil barcaças (SANTOS, 2017).

A Alemanha destaca-se no transporte hidroviário na Europa, especialmente no transporte de cargas, sendo indispensável para a economia local. Devido ao relevo de planícies em torno das mais elevadas montanhas, favorece à existência de grande quantidade de rios: são 7,5 mil km de vias navegáveis, sendo possível atravessar toda a Alemanha (CITAq, 2013).

A Alemanha ainda possui o “Wasserstrassenkreuz”, conforme Figura 3, que é o mais longo 'viaduto' da Europa, com 918 m de extensão. Ele conecta a parte leste do Mittellandkanal com o trecho oeste do Elba-Havel-Kanal. A obra é aberta ao tráfego de mercadorias durante todo o ano, consiste numa ponte principal, com 228 m de extensão, sendo subdividida em 3 trechos e um canal com 690 m.

**Figura 2:** Cruzamento de Hidrovias



**Fonte:** CITAq (2013).

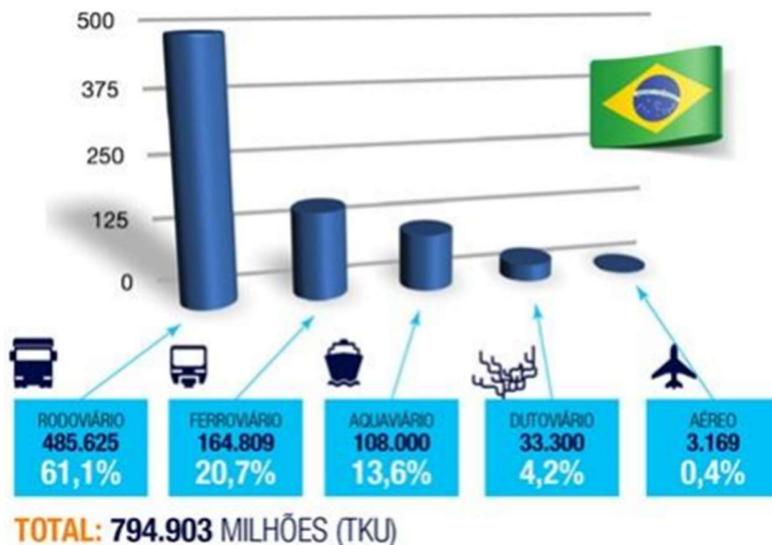
Aproximadamente metade da malha hidroviária Europeia tem condições de receber embarcações com mais de 1.000 toneladas. Outra importante característica do sistema de transporte hidroviário europeu apontado pelo INE (2006) é a sua abrangência, ligando as principais cidades, centros de comércio, indústria, navegação e portos marítimos.

### **2.3.A Navegação de interior no Brasil**

De acordo com o CNT (2019), o País conta com 63.000km de vias, lagoas, represas e canais. Dentre estes, aproximadamente 41.795 km são vias navegáveis e, dessas vias, 19.464 km são vias economicamente navegáveis para o uso do transporte hidroviário de carga

ou passageiros, influenciando na baixa participação na matriz de transportes brasileira, conforme a Figura 4.

**Figura 3:** Composição da Matriz do Transporte de Carga no Brasil



Fonte: CNT (2019).

O Brasil possui a 3ª maior rede hidroviária do mundo e essas vias são exploradas economicamente por uma frota de 2.087 embarcações para Navegação Interior e, também, pela frota de 177 embarcações para Navegação de Longo Curso e Cabotagem através das vias interiores (CNT, 2015).

Segundo dados da World Trade Organization (2011), a colaboração brasileira com fluxo mundial das exportações é de apenas 1,3%. Esse baixo valor é imputado diretamente na inadequada e ineficiente infraestrutura (SOUZA & LEAL, 2015).

A infraestrutura de transporte deficiente dificulta o escoamento de produtos acabados, tornando-se outro fator de desvantagem competitiva. Essa desvantagem ocasiona também o aumento do custo final no transporte de carga, afetando a competitividade das indústrias (CHOPA & MEINDL, 2003).

De acordo com a Antaq (2017), 76,2% do total transportado, em toneladas, pela navegação interior foram de grãos sólidos, sendo que a soja e o milho tiveram a maior participação nesse grupo (46,4% do movimentado). As cargas containerizadas representaram o segundo maior grupo, em toneladas, no transporte por navegação interior, com 10,2%, seguido pelos grãos líquidos e gasoso, com 9,3%, e carga geral, com 4,3%. Dentre as

regiões hidrográficas com informação disponível, a região Amazônica se destacou, pois 54,9% da carga transportada por navegação interior, em toneladas, passaram por essa região, seguida pela região hidrográfica do Tocantins-Araguaia, com 22,8%.

Os rios mais favoráveis à navegação são, geralmente, aqueles de baixo curso ou de planícies, caracterizados por uma declividade suave e regular e sendo razoavelmente largos. No Brasil, os principais rios de planícies que se mostram mais propensos à navegação e sem a necessidade de grandes intervenções são os rios Amazonas, Solimões, Trombetas, Madeira, Paraguai, Jacuí e Lagoa dos Patos, além dos trechos dos rios Tocantins e Tapajós. Todos esses rios já possuem navegação comercial em níveis variáveis de intensidade (MT, 2013). Com relação aos rios de planalto, que possuem condições mais restritivas à navegação, os principais que apresentam trechos navegáveis são: Paraná, Tietê, São Francisco e Madeira. Além desses, os rios com potencial para a implantação e desenvolvimento de hidrovias são: Tocantins, Araguaia, Tapajós, Teles Pires, Parnaíba e Uruguai. Para que possam se tornar hidrovias, necessitam de intervenções de engenharia, destacando-se principalmente barragens com eclusas que possibilitem a regularização dos níveis de água (MT, 2013). Assim como ocorrera no Centro-Sul e no interior do Sudeste brasileiro, o avanço do agronegócio no Norte do País tem se consolidado em áreas ricas em vias navegáveis, como os rios Araguaia-Tocantins e a rica malha fluvial presente no sul da bacia hidrográfica amazônica. Algumas dessas ainda pouco desenvolvidas para o pleno uso (POMPERMAYER *et al.*, 2014).

As hidrovias no Brasil possuem cerca de 60 mil km de rios navegáveis com características próprias em cada região, porém só é utilizado um terço do potencial que existe. Enquanto os outros países procuram transportar seus produtos pelas hidrovias, o Brasil segue pelo caminho inverso. Percebe-se que faltam investimentos proporcionais para hidrovias em comparação com as rodovias.

### **2.3.1. Programas de investimento no transporte hidroviário**

A degradação da infraestrutura de transporte e a ausência da capacidade de investimentos públicos têm levado o governo federal e vários governos estaduais a buscar novas estratégias que permitam a melhoria do desempenho logístico e de transporte. Sendo assim, os planos de ações são importantes para dar suporte às decisões relativas a essa questão

que ganhou importância nos últimos anos e passou a constituir a pauta dos programas de governo (SANTOS, 2017).

Na possibilidade de estabelecer uma matriz de transporte mais eficiente e equilibrada, foram realizados diferentes planos federais. Os planos que contribuíram para planejamento do transporte hidroviário são os seguintes: o Plano Nacional de Logística e Transporte - PNLT (MT, 2007, 2009 e 2012), o Plano de Aceleração do Crescimento – PAC (MT, 2013a e 2014b), o Plano Geral de Outorgas do Setor Portuário – PGO (ANTAQ, 2009; BRITO, 2012), o Plano Hidroviário Estratégico – PHE (MT, 2013b), o Plano Nacional de Integração Hidroviária – PNIH (TOKARSKI, 2011; BRITO, 2012) e o Plano Nacional de Logística – PNL (2018), segundo Guimarães (2015). Os principais objetivos desses planos estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1:** Planos relacionados ao transporte hidroviário

<b>Planos</b>	<b>Objetivos</b>
PNLT	i. Equilibrar a matriz de transporte; ii. Promover a intermodalidade; iii. Promover a integração regional sul-americana; iv. Estruturar corredores de escoamento da produção; v. Reduzir desigualdades regionais; vi. Aumentar eficiência produtiva em áreas consolidadas; e vii. Induzir o desenvolvimento de áreas de expansão de fronteira agrícola e mineral.
PAC	i. Adequar a infraestrutura de transporte por meio da construção e ampliação de rodovias, ferrovias, portos, aeroportos e hidrovias. Foram destinados recursos, também, para construção de terminais; ii. Indiretamente tem como objetivo promover a intermodalidade e integração regional.
PGO	i. Estudar áreas propícias para investimentos no setor portuário; ii. Indicar as melhorias de infraestrutura necessárias para fomentar a utilização do transporte aquaviário; iii. Criar o programa de arrendamento das instalações dos portos públicos existentes.
PHE	i. Viabilizar o transporte hidroviário de interior em larga escala de forma a fortalecê-lo como uma alternativa para o escoamento da produção e para o deslocamento de pessoas
PNIH	i. Realizar um estudo detalhado sobre as hidrovias brasileiras a fim de estimar a demanda por esse modo de transporte; ii. Indicar áreas propícias para instalação portuária.
PNL	i. alcançar uma divisão mais equilibrada da matriz de transportes, considerando a eficiência dos modos para a movimentação de cargas no País; ii. redução das emissões totais de dióxido de carbono – CO <sub>2</sub> ; iii. diminuição do custo total de transporte para a movimentação de mercadorias.

**Fonte:** GUIMARÃES (2015), ANTAQ (2009), BRITO (2012), CASTRO (2013), EPL (2014ab), MT (2007, 2009, 2012, 2013ab, 2014b), SEP (2012), TOKARSKI (2011) e YUNES (2013).

Além dos Planos que contribuíram para o planejamento do transporte hidroviário, foi realizado o levantamento das necessidades de infraestrutura das principais hidrovias. Na Tabela 2, estão listadas as principais obras sugeridas, situação atual e importância de cada hidrovia.

**Tabela 2:** Levantamento das necessidades de infraestrutura das principais hidrovias

Principais Hidrovias	Obras Sugeridas	Situação Atual	Importância das Hidrovias
Hidrovia do Rio Tapajós-Teles Pires	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade de sinalização, balizamento;</li> <li>• Sinalização: projeto em análise pelo DNIT;</li> <li>• EVTEA concluído</li> <li>• Entrega de 60 barcaças graneleiras e 2 empurradores fluviais.</li> </ul>	EVTEA: Tapajós-Teles Pires Concluído	Espera-se que, com a melhoria da infraestrutura deste rio juntamente com o rio Teles Pires, se consiga outra rota com origem em Mato Grosso, de baixo custo, para o escoamento de grãos da região Centro-Oeste para a região Norte. Dessa forma, combinada com a BR-163, a hidrovia pode potencializar as atividades ligadas ao agronegócio na região.
Hidrovia do Rio Madeira e Rio Amazonas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rio Madeira: Necessidade de sinalização, balizamento e dragagem;</li> <li>• Rio Madeira: a) Termo de Coop. c/ a Marinha b) Dragagem de manutenção estruturada (2017/21);</li> <li>• Rio Amazonas: EVTEA em desenvolvimento.</li> </ul>	EVTEA: Amazonas: Concluído Madeira: Concluído	Uma das principais rotas. Escoamento da produção no vetor amazônico em direção aos portos da região Norte, Itacoatiara e Santarém.
Hidrovia Tietê-Paraná	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade de dragagem, abertura de canais, adequação da hidrovia e construção e adequação de eclusas;</li> <li>• Intervenções federais e estaduais em andamento: adequação de pontes, adequação de canais; melhorias em eclusas e projetos de novas eclusas e emissão da ordem de serviço para início das obras do derrocamento do Pedral de Nova Avanhandava.</li> </ul>	Obras de derrocamento de Nova Avanhandava foram paralisadas. A escavação do canal à montante da eclusa de Ibitinga está em andamento e a previsão de término é para 2020	A hidrovia Tietê-Paraná localiza-se em uma das regiões de maior concentração de atividade econômica do Brasil, além de passar por outros países da América do Sul. Essa hidrovia pode ser uma alternativa para escoamento da soja em direção aos portos da Argentina e do Uruguai.
Hidrovia do Paraguai	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dragagem para aumento do calado para utilização da hidrovia em toda a sua extensão.</li> </ul>	A hidrovia Paraguai-Paraná terá licitações de melhoria em 2020	A Hidrovia do Paraguai, que corta metade da América do Sul – desde Cáceres/MT até Nova Palmira, no Uruguai –, possui trecho brasileiro com 1.272 km, que facilitaria o escoamento dos produtos objeto do presente estudo nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.
Hidrovia Tocantins-Araguaia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O Rio Tocantins tem grande extensão navegável, mas sem continuidade, com destaque para a necessidade de derrocamento do Pedral do Lourenço de 43 quilômetros de extensão localizado no Pará.</li> </ul>	EVTEA: Tocantins – Araguaia: Não foi concluído e está paralisado. Derrocamento do Pedral do Lourenço: Fase de Projeto: Concluído o projeto. Está em fase de licenciamento ambiental	Em relação à Hidrovia Tocantins, o rio nasce no estado de Goiás e se desenvolve até o estado do Pará, tendo como principal afluente o rio Araguaia. Além de ser espaço de grande potencial para expansão da fronteira agrícola, principalmente no cultivo de grãos, pode ser utilizado para a movimentação desses produtos.

<p>Hidrovia do São Francisco</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Problemas relativos à estiagem acarretam níveis baixos de água, impedindo o pleno funcionamento desta hidrovia. As intervenções necessárias são: a retirada de material do fundo do rio; a implantação de sinalização, de guias-correntes e de diques de pedra que diminuem a necessidade de dragagem.</li> </ul>	<p>Estudo de EVTEA foi concluído. Confirmada a viabilidade econômica e ambiental da hidrovia no São Francisco</p> <p>Está fazendo um processo de revitalização do rio incluindo recuperação de imagens e dragagens e nos últimos 2 anos não teve navegação econômica na hidrovia.</p>	<p>A Hidrovia do São Francisco também viabilizaria o incremento do transporte de grãos, pois o sistema do São Francisco faz parte de uma cadeia intermodal de exportação de produtos agrícolas. Partindo da origem da “nova fronteira agrícola” do Oeste da Bahia, poderia ser escoada a produção para o litoral nordestino e para o complexo portuário de Vitória/ES.</p>
----------------------------------	--	---	--

**Fonte:** ABO (2020), AGÊNCIA CÂMARA DE NOTÍCIAS (2017), SELEME *et al.* (2017)

Segundo Correa *et al.* (2020), 78% das obras das hidrovias da Amazônia estão em execução ou em fase de preparação, do total de empreendimentos da região, observando que boa parte dos investimentos em hidrovias ainda não ocorreu. Além disso, entre os anos de 2011 e 2018, os investimentos na navegação interior do Brasil representaram, em média, apenas 10,6% do valor considerado nos principais planos de governo para o setor (no âmbito federal), tais como o PNLT (Plano Nacional de Logística e Transportes) e o PHE (Plano Hidroviário Estratégico). O valor investido é 52,9%, em média, do orçamento autorizado para a navegação interior executado de 2001 a 2018.

Esses investimentos, no entanto, são fundamentais para melhoria da condição logística brasileira. Sem eles, as hidrovias não podem ser utilizadas e o País fica vulnerável a questões como a crise hídrica, que impactou a navegabilidade na bacia Tietê-Paraná, e ao regime de cheias, cujo impacto reduziu o uso do rio Madeira para transporte de cargas (G1, 2015). Também está entre os objetivos dos planos diminuir a distorção da matriz de transportes, por meio do desenvolvimento e uso mais intensivo das modalidades ferroviária e hidroviária (CORREA & RAMOS, 2010; Guimarães, 2015).

#### **2.4. As vantagens do modo de transporte hidroviário**

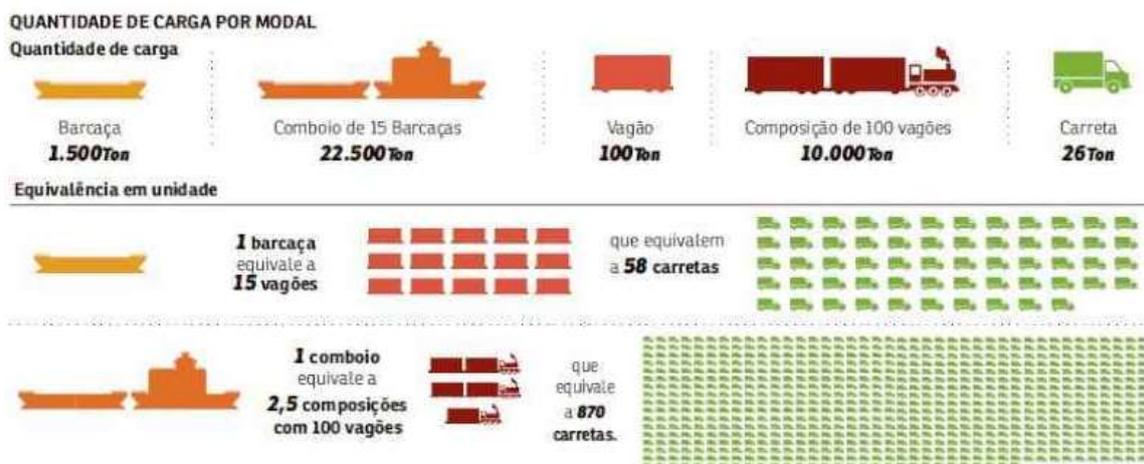
A utilização de cada modalidade de transporte de forma racional, otimizada e integrada é fundamental para melhoria da eficiência e competitividade da economia de um país, tanto para o mercado regional, quanto para o internacional em que se processam as relações comerciais no mundo globalizado (PNLT, 2007).

Quando se comparam as principais características técnicas entre os modos de transporte, o transporte hidroviário se destaca por apresentar vários benefícios associados aos

custos operacionais diretos, mas também aos custos indiretos (externalidades) citados a seguir, que tanto preocupam o mundo moderno.

As hidrovias têm a capacidade de transportar grandes quantidades de carga, com baixo custo. Enquanto um comboio do modo hidroviário transporta em uma única viagem vinte e dois mil e quinhentas toneladas de carga, seriam necessários, para a mesma quantidade, duzentos e vinte e cinco vagões no modo ferroviário ou 870 carretas nas rodovias de acordo com a Figura 5 (CNT, 2019). Em geral, os comboios no Brasil possuem formações que variam entre 2x2 (22m x 128m) e 4x5 (55m x 268m), com barcaças predominantemente de 60m de comprimento por 11m largura, e uma ampla gama de empurradores, que varia entre 28m para os comboios maiores e 18m para os menores (PHE, 2013).

**Figura 4:** Capacidade por modo de transporte



**Fonte:** CNT (2019).

**Figura 5:** Comboio de Soja



**Fonte:** Soja do Paraguai levada até o Uruguai pela hidrovia (Foto: Divulgação/Hidroviias do Brasil).

Em referência à segurança, o transporte hidroviário é ainda o mais seguro. A ocorrência de acidentes é praticamente zero. A economicidade das hidrovias pode ser explicada pela necessidade de menores intervenções, para a sua instalação e manutenção, e maior durabilidade da infraestrutura e dos equipamentos. Em relação ao custo de implantação dos modos, a hidrovia aparece novamente como o meio mais econômico. Para 1 km de via implantada, são gastos US\$ 34 mil na hidrovia, US\$ 1,4 milhão em ferrovia e US\$ 440 mil nas Rodovias, conforme a Figura 7 (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES & ANTAQ, 2015).

**Figura 6:** Custo referencial de implantação de vias de transporte

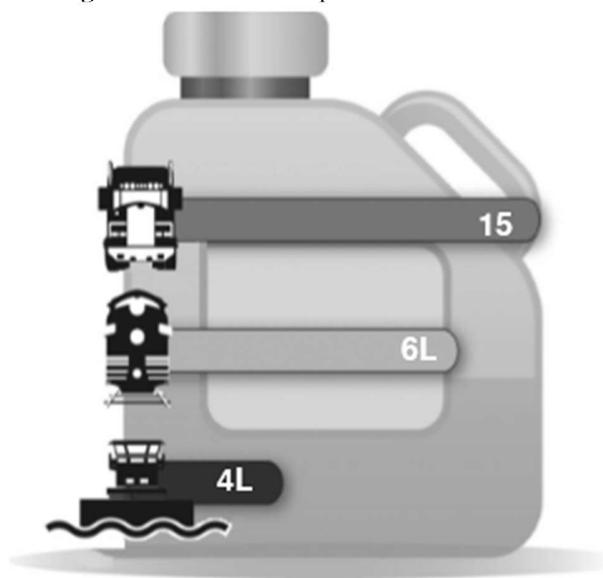


\*Inclui acidentes, poluição atmosférica e sonora, consumo de água e espaço (2015).

**Fonte:** Ministério dos Transportes & Antaq (2015).

Segundo a ANTAQ (2009), no que tange à economia de combustível, o transporte hidroviário se caracteriza como a melhor maneira para transporte de cargas. No trabalho “A Modal Comparison of Domestic Freight Transportation Effects on the General Public”, foi desenvolvido estudo sobre o consumo de combustível entre os modos de transportes. Para o modo rodoviário, são necessários 15 (quinze) litros de combustível para transportar mil toneladas por quilômetro útil (TkU). Para o modo ferroviário, são necessários 6 (seis) litros de combustível para transportar as mesmas 1000 toneladas, enquanto para o transporte hidroviário, são necessários apenas 4 (quatro) litros de combustível. A Figura 8 ilustra graficamente os resultados obtidos nesse estudo, comparativamente para cada modo: rodoviário, ferroviário e hidroviário.

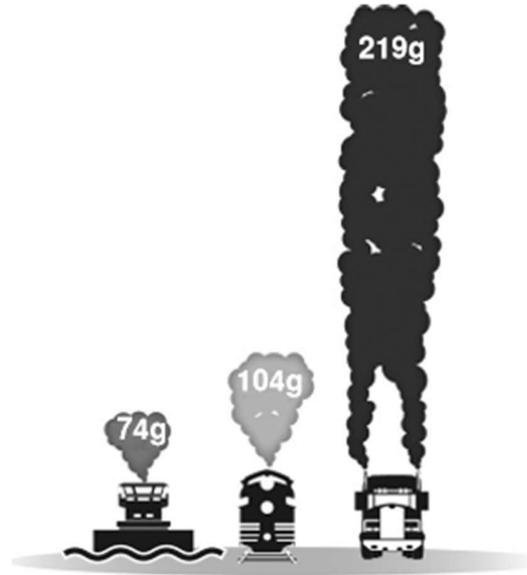
**Figura 7:** Consumo comparativo de combustível



**Fonte:** Adaptado de STSP (2003) e NWF (2008).

O transporte hidroviário é responsável pela menor emissão de monóxido de carbono e óxidos nítricos. Ainda segundo dados do estudo americano, o sistema rodoviário emite 219 g de monóxido de carbono (CO) a cada mil toneladas por quilômetro útil (TKU), o ferroviário, 104 g, e o sistema hidroviário, 74 g. Em relação à emissão de óxidos nítricos, o sistema hidroviário também apresenta vantagens sobre os modos ferroviários e rodoviários. Na hidrovia, são emitidos 755 g de óxidos nítricos a cada mil TKU. No ferroviário e rodoviário esse número chega a 1.053 g e 1.178 g, respectivamente. Da mesma forma a Figura 9 ilustra graficamente as emissões de CO para os modos rodoviário, ferroviário e hidroviário.

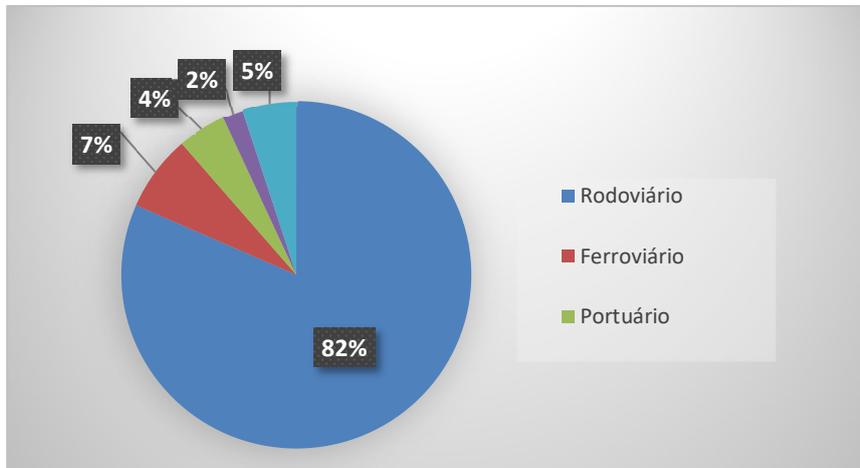
**Figura 8:** Comparação entre modais quanto à emissão de CO



**Fonte:** Adaptado de STSP (2003) e NWF (2008).

Mesmo com as vantagens que o modo hidroviário apresenta em relação aos seus principais concorrentes, rodoviário e ferroviário, o transporte rodoviário continua predominando no Brasil, por ser um transporte porta a porta sem necessidade de outro modo de transporte, por ter maior flexibilidade, por realizar um tempo de entrega mais rápido e confiável para cargas parceladas e por possuir um baixo custo fixo (Adaptado de MORABITO & IANNONI, 2011; e MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2015). Além disso, essa representatividade do modo de transporte rodoviário pode ser explicada pelas características dos investimentos em transportes feitos ao longo de décadas privilegiando a construção de rodovias, como detalhado na Figura 10.

**Figura 9:** Investimentos por modo de transportes – 2018



**Fonte:** MT, 2018

Nesse contexto, a compreensão das bacias hidrográficas, ou seja, onde estão localizadas as hidrovias, é essencial para entender a infraestrutura e o sistema de transporte atual. Além disso, proporciona discernimento sobre o tipo de melhorias que podem ser introduzidas. Mais ainda, a análise das questões sociais e ambientais nas bacias hidrográficas é importante para estruturar a compreensão das condições socioeconômicas de cada bacia. Essa análise se destina a entender as características sociais e ambientais, como os ecossistemas que os formam, organizam o cenário e fornecem recursos naturais e serviços ambientais, bem como a dinâmica socioeconômica que determina as várias formas de apropriação de tais recursos e serviços (PHE, 2013).

## **2.5. Bacias Hidrográficas Brasileira**

O Brasil possui uma extensa rede de vias navegáveis interiores, com aproximadamente 63 mil km de extensão, distribuídos em 12 regiões hidrográficas, conforme Figura 11: Região Hidrográfica Amazônica, Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental, Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental, Região Hidrográfica do Atlântico Leste, Região Hidrográfica Atlântico Sudeste, Região Hidrográfica Atlântico do Sul, Região Hidrográfica do Tocantins/Araguaia, Região Hidrográfica do Parnaíba, Região Hidrográfica do São Francisco, Região Hidrográfica do Paraguai, Região Hidrográfica Paraná, e Região Hidrográfica Uruguai.

**Figura 10:** Divisão Hidrográfica Nacional



**Fonte:** ANA, 2018

Apesar de existirem doze regiões hidrográficas, foram consideradas as hidrovias que possuem os rios economicamente navegáveis permitindo a navegação segura de comboios ou embarcações com grande capacidade para o transporte de cargas. Então, as bacias identificadas foram: Amazônica, Tocantins, São Francisco, Parnaíba, Paraná-Tietê, Atlântico Sul, Rio Uruguai e Paraguai-Paraná (ANTAQ, 2018). A seleção dos rios a serem estudados está apresentada na Figura 12. Pode-se observar, das informações da Figura 12 a predominância da Região Amazônica no transporte de cargas e passageiros, estando aproximadamente 80% das vias economicamente navegadas localizadas nessa região.

**Figura 11: Rede Hidroviária Economicamente Navegável**

REGIÕES HIDROGRÁFICAS	VIAS ECONOMICAMENTE NAVEGÁVEIS	ESTADOS	RIOS
Amazônica	15.014	AM, PA, AC, RO, RR e AP	Amazonas, Solimões, Negro, Branco, Madeira, Purus, Juruá, tapajós, teles pires, Juruena, Mamoré e Guaporé
Tocantins-Araguaia	1.338	TO, MA, GO	Tocantins, Araguaia e Mortes
São Francisco	0	MG, BAPE e SE	São Francisco, Grande e Corrente
Paraná	1.267	SP, PR e SC	Paraná, Tietê, Paranaíba, Grande, Ivaí e Ivinhema
Paraguai	591	MT, MS e PR	Paraguai, Cuiabá, Miranda, São Lourenço, Taquari e Iaurú
Atlântico Sul	406	RS	Jacuí, Taquari, lagoa dos Patos e Lagoa Mirim
<b>TOTAL</b>	<b>18.616</b>		

Fonte: ANTAQ: 2018

- **Bacia Amazônica**

Abrange uma área de 6.112.000 km<sup>2</sup> e ocupa cerca de 42% da superfície do território brasileiro. É a maior rede hidrográfica mundial e seu principal curso de água é o rio Amazonas, que possui extensão de 6.570 km.

A região do Amazonas abrange atualmente a maior parcela do transporte hidroviário interior no Brasil. Além do Amazonas, outros rios importantes da região são: Madeira, Teles Pires e Tapajós. O transporte hidroviário na região é de grande relevância devido à falta de alternativas de transporte. Há poucas estradas e ferrovias na região. Para o transporte de passageiros, o transporte hidroviário interior é visto como essencial, pois muitas vezes é a única opção para a ligação de assentamentos humanos com centros urbanos. No futuro, é esperado um aumento no transporte de carga em geral. Segundo PHE (2013), com a implantação da hidrovía Teles Pires-Tapajós, haverá uma redução nos custos de transporte em R\$ 1,9 bilhão, por ano, para o setor da soja.

- **Bacia do Tocantins-Araguaia**

A Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia possui uma área de 918.822 km<sup>2</sup> (11% do território nacional) e abrange os estados de Goiás (21%), Tocantins (30%), Pará (30%), Maranhão (4%), Mato Grosso (15%) e o Distrito Federal (0,1%).

Os rios Tocantins e Araguaia estão localizados nas regiões Norte e Centro-oeste do país. O rio Araguaia não é considerado um rio com potencial hidroviário, devido a sua grande importância para muitas comunidades tradicionais e como área de conservação ambiental.

Além disso, o rio Tocantins corre em grande parte paralelo ao Araguaia e é, portanto, juntamente com as suas características físicas, visto como o mais viável para se tornar uma hidrovia. Os principais gargalos à navegação no rio Tocantins são a necessidade de eclusas em usinas hidrelétricas, existentes e planejadas, formações rochosas no rio e a carência de sinalização. Logo após o município de Lajeado, há interferências com comunidades indígenas, as quais devem ser consideradas na execução de obras no rio Tocantins. Assim como na região Amazônica, no rio Tocantins há também a falta de investimentos em terminais portuários privados e públicos e em embarcações para acomodar a demanda futura.

- **Bacia do São Francisco**

A área da bacia abrange parte do território dos seguintes estados: Minas Gerais, Bahia, Pernambuco e Alagoas. Possui uma área de drenagem de 631.000 km<sup>2</sup>, que representa 7,5% do território nacional; onde 83% da área da bacia distribui-se nos estados de Minas Gerais e Bahia, 16% nos estados de Pernambuco, Alagoas e Sergipe, e o restante 1% no estado de Goiás e Distrito Federal. O rio São Francisco é o mais importante da bacia, com uma extensão de 2.700 km.

O rio São Francisco possui pouca profundidade na época da seca devido ao processo de assoreamento causado pela inadequada utilização do solo e a erosão das margens. Obras de manutenção constantes são necessárias, porém não ocorrem com a devida frequência. Assim como vários terminais públicos não estão em operação.

A ausência de estaleiros pode ser um gargalo para a expansão do transporte hidroviário interior no futuro.

- **Bacia do Paraná**

A bacia do rio Paraná possui um volume médio anual de 495 km<sup>3</sup> e uma área de drenagem de 1.237.000 km<sup>2</sup>. Abrange os territórios dos estados de Mato Grosso, Paraná, São Paulo e partes dos territórios dos estados de Minas Gerais e Goiás. Geograficamente limita-se às seguintes bacias hidrográficas brasileiras: a Bacia Amazônica e a Bacia do Tocantins-Araguaia, ao norte, Bacia do Rio São Francisco, a nordeste, Bacia do Atlântico Trecho Leste, a sudeste, Bacia do Uruguai, ao sul. Grande parte de sua área está na região Sudeste do Brasil.

- **Bacia do Paraguai**

A hidrovia Paraguai está próxima dos centros de produção de soja e tem sido citada como uma opção para o transporte de carga através da Argentina para exportação.

Atualmente o Rio Paraguai encontra problemas de profundidade. Portanto, controlar a profundidade desses rios é a principal prioridade para garantir um sistema de transporte hidroviário interior confiável. Apesar das regras de navegação estarem internacionalizadas, ainda existem diferenças nos padrões adotados (embarcações brasileiras passam por um processo de certificação diferente, por exemplo). Via de regra, empresas de transporte são empresas estrangeiras e, conseqüentemente, as embarcações utilizadas também.

Devido à presença de assentamentos indígenas nas proximidades do trecho entre Cáceres e Corumbá, há atualmente a obrigatoriedade de que toda e qualquer ação que se pretenda realizar no rio Paraguai deve ser votada no Congresso Nacional. Essa situação paralisou vários estudos e obras em andamento no Rio Paraguai.

- **Bacia do Atlântico-Sul**

A bacia do Atlântico Sul – Trecho Sudeste, possui uma área de drenagem em território nacional de 224.000 km<sup>2</sup>, banha extensas áreas do estado do Rio Grande do Sul e parte dos estados de Santa Catarina, Paraná e São Paulo. Na região Atlântico Sul, há alta competição entre os diferentes modos de transporte. Atualmente o transporte hidroviário interior não é entendido como um meio confiável de transporte. Os rios do Atlântico-Sul têm problemas de profundidade. Portanto, controlar a profundidade desses rios é prioritário para garantir um sistema de transporte hidroviário interior confiável. Há uma falta de sinalização em rios e lagos, no Sul, e a infraestrutura do terminal portuário não é adequada para acomodar uma expansão do transporte hidroviário interior. As embarcações atuais também não são apropriadas para o transporte de contêineres.

Os rios Jacuí, Ibicuí, Sinos, Gravataí e São Gonçalo, a Lagoa dos Patos e a Lagoa Mirim possuem a profundidade de pelo menos 2,50 metros, que deve ser mantida nos rios Jacuí e Taquari (passagem limite das barragens) e para a Lagoa dos Patos o calado mínimo deve ser 5,20 metros.

### **2.6.A Hidrovia do rio Tapajós e do rio Teles-Pires**

O Sistema Hidroviário do Tapajós é composto por quatro rios, formados pelos trechos com potencial de navegabilidade dos rios Arinos, Juruena, Tapajós e Teles-Pires, sendo essas hidrovias localizadas dentro dos limites da bacia hidrográfica do rio Tapajós.

O rio Tapajós é um dos principais afluentes da margem direita do Amazonas. Nasce da confluência dos rios Juruena e Teles Pires, na divisa dos estados do Pará, Amazonas e Mato Grosso. Percorre uma extensão da ordem de 810 km, até desaguar na margem direita do rio Amazonas, no município de Santarém (PA), a cerca de 950 km de Belém (PA) e 750 km de Manaus.

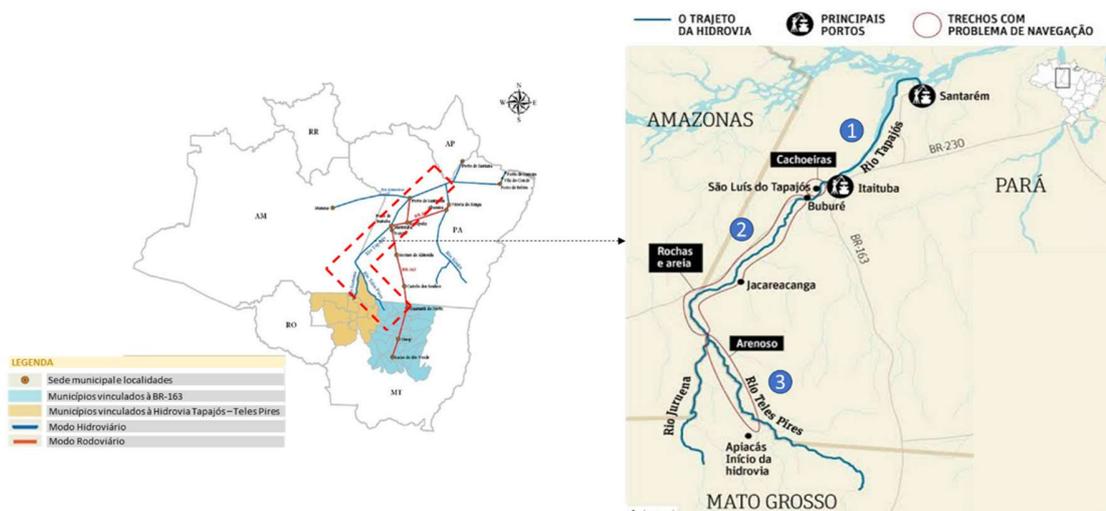
Já o rio Teles Pires consiste em um dos formadores do rio Tapajós, fazendo parte da bacia amazônica. Sua nascente se encontra no estado de Mato Grosso, nas serras Azul e do Finca Faca. Sua foz se dá na confluência com o rio Juruena, próximo à Barra de São Manoel (AM), formando o rio Tapajós. A bacia do rio Teles Pires banha os estados de Mato Grosso e Pará, sendo o divisor natural entre esses dois estados por cerca de 330 km.

A Hidrovia do rio Tapajós é planejada para abranger todo o comprimento do rio. Segundo a DNIT (2018), o comboio-tipo adotado para a hidrovia apresenta um comprimento de 200 m e 24 m de boca. O calado mínimo de projeto é de 1,50 m, podendo alcançar 2,50 m na época das águas altas, representando uma capacidade de carga de 7.500 t por comboio.

A hidrovia do Tapajós possui uma posição geográfica estratégica, conectando grandes centros de produção agrícola brasileiros ao rio Amazonas e conseqüentemente ao Oceano Atlântico. No entanto, atualmente, a navegação só é viável da cidade de Santarém, no encontro dos rios Tapajós e Amazonas, até a cidade de Itaituba, no rio Tapajós, com cerca de 280 km de comprimento, conforme o número 1 da Figura 13.

A montante da cidade de Itaituba, o rio Tapajós e seus principais afluentes (rios Teles Pires e Juruena) apresentam uma série de afloramentos rochosos e corredeiras intransponíveis por embarcações comerciais, sendo necessário realizar derrocamentos e desobstruções do canal navegável do km 345 até o km 851, na confluência dos rios Tapajós–Teles Pires–Juruena, conforme o número 2 da Figura 13. e as necessidades de intervenções, incluindo-se desobstruções e dragagens necessárias no trecho compreendido entre o km 851 até o km 1043, em Cachoeira Rasteira, no rio Teles Pires e, ainda, superficialmente, no trecho entre Cachoeira Rasteira e o município de Sinop, ambos no Mato Grosso, detalhado no item 3 da Figura 13.

**Figura 12:** Hidrovia Tapajós-Teles Pires



**Fonte:** EVTEA - H (DNIT, 2012) e Setorial Nacional de Transportes (2012).

Até o ano de 2011, a hidrovia do Tapajós não foi utilizada intensivamente para transporte hidroviário interior, mesmo sendo navegável por 343 quilômetros (PHE, 2013). Na Figura 14, estão detalhados os valores para implantar essa hidrovia (AMORIM & LOPES, 2017).

**Figura 13:** Custos para implantar a hidrovia Tapajós-Teles Pires

Eclusa	Valor
São Luiz do Tapajós	R\$ 1.009.637.182,65
Jatobá	R\$ 646.809.547,18
Chacorã	R\$ 669.410.869,29
Teles Pires	R\$ 602.056.571,94
UHE de SINOP	R\$ 613.692.430,13
UHE de São Manoel	R\$ 593.722.719,66
UHE de Teles-Pires	R\$ 1.453.644.675,56

Custos com dragagem
R\$ 1.722.823.126,70

Custos com balizamento e sinalização
R\$ 37.760.453,56

**Fonte:** EVTEA - H (DNIT, 2014)

O Mato Grosso é o estado que possui o maior potencial para transporte no rio Tapajós, sendo as duas commodities mais importantes originadas no Mato Grosso para o rio Tapajós: soja e milho. A Hidrovia Tapajós-Teles Pires, chamada de “Hidrovia do Agronegócio”, é considerada a única rota aquaviária para o escoamento desses grãos (soja, milho, entre

outros), de uma região de produção agrícola em potencial com o rio Amazonas e deste para o oceano Atlântico, em prol da exportação, principalmente para os países do continente europeu e países da América Central e América do Norte. Além disso, proporciona uma redução no frete de quatro a cinco vezes o valor atual, pois se estima uma economia de cerca de 930 milhões de dólares, segundo Ferreira (2010). Dessa forma, contribui fundamentalmente na redução do Custo Brasil, na ótica de transportes. Um outro rio importantante, é o Rio Juruena, localizado entre a confluência com o rio Teles Pires, no Pará (PA), até o município de Juína no Mato Grosso (MT). Essa hidrovia é importante também porque conecta com o norte do país podendo consolidar a infraestrutura de transporte e tornar o Mato Grosso em celeiros mundiais na produção de grãos.

## **2.7. Considerações finais**

Este capítulo identificou as características das hidrovias no exterior e no Brasil. Além disso, foi possível detalhar toda extensão das hidrovias no País e a importância do transporte hidroviário, evidenciando que é o modo de maior retorno econômico, menos poluidor e o mais conservador do meio ambiente, porém o modo de transporte rodoviário ainda predomina no país.

O Capítulo também abordou a hidrovia Tapajós-Teles Pires com mais detalhes por ser objeto de estudo desta tese. Foram identificadas as seguintes informações da hidrovia Tapajós-Teles Pires: a localização, os problemas que afetam a navegabilidade, as intervenções necessárias para torná-la navegável e a sua importância para País.

### **3. EFICIÊNCIA ECONÔMICA, AMBIENTAL E SOCIAL NOS TRANSPORTES**

O presente Capítulo tem o objetivo de levantar os indicadores e as medidas para avaliação de desempenho com base nos aspectos da sustentabilidade. Para tanto, esse espaço se dedica a apresentar os principais conceitos associados à eficiência, sustentabilidade, e avaliação de desempenho. Também foi detalhado sobre a sustentabilidade aplicada no transporte de carga. As conceituações e levantamentos bibliográficos dão base para a seleção de indicadores e medidas para avaliação de desempenho

#### **3.1. Eficiência e sustentabilidade**

A eficiência pode ser definida como a qualidade de poder executar uma tarefa com sucesso e sem desperdiçar tempo ou energia (SINCLAIR, 1992).

Kim & Marlow (2001) apresentam uma definição semelhante: "eficiência refere-se a como os recursos gastos são bem utilizados". A eficiência geralmente está ligada à entrada de insumos, ao processo e a saída de um produto ou serviço. A entrada então consiste em recursos, como terra, trabalho e capital, que são fornecidos a algo como uma máquina ou um projeto para fazê-lo funcionar. O processo refere-se aos recursos consumidos durante o processo. E a saída é a capacidade de um processo de fornecer produtos ou serviços de acordo com especificações ou a quantidade de algo que eles produzem. A eficiência pode então ser medida comparando-se a quantidade ou o valor dos bens (produto) com o tempo e o dinheiro gastos em sua produção e o número de trabalhadores que os produzem (insumo).

Segundo Maximiano (2000), eficiência é a relação entre os insumos e o resultado. Deste modo, quanto menor o insumo necessário para produzir um resultado, mais eficiente é o processo. Neste contexto, a eficiência demonstra a ideia de que um processo eficiente é aquele que alcança maiores resultados com mesmos ou menores recursos e aquele que mantém os resultados utilizando menores recursos.

Chiavenato (1994) usa os termos benefícios para resultados e custos para recursos, que devem ser aplicados de forma mais racional possível. Megginson *et al.* (1998) utilizam o termo *output* para resultados e *input* para recursos. Já Slack *et al.* (2002) interpretam o conceito de eficiência como uma relação entre volume de produção real (resultado da atividade) e capacidade efetiva (potencial de uso dos recursos de produção). Então, a

eficiência é utilizada para minimizar as entradas quando as saídas são fixas ou maximizar as saídas quando as entradas são fixas (OCKWELL, 2001).

A eficiência de um sistema também pode ser definida como sendo a capacidade desse sistema de utilizar, da melhor maneira possível, os recursos disponíveis, e de aproveitar, ao máximo, as condições ambientais para obter o desempenho ótimo em alguma dimensão. (ALMEIDA *et al.*, 2006).

A abordagem escolhida para mensurar a eficiência foi a Análise Envoltória de Dados (DEA). Segundo Lins & Meza (2000), o Método DEA possibilita utilizar diversos tipos de dados reais de variáveis de *input* e *output* cujas unidades de medidas podem ser diferentes entre si, desde que tais variáveis sejam iguais para todas as unidades tomadoras de decisão (DMU – Decision Making Units) (COOPER *et al.*, 2006). Sendo assim, faz-se necessário definir DMU (Decision Making Units), que é; qualquer tipo de empreendimento; público, privado, comércios, indústrias, escolas e universidades, bancos, conjuntos habitacionais, portos e aeroportos, entre muitos outros (BERTOLOTO & MELLO, 2011; COOPER *et al.*, 2006; SOUSA JÚNIOR, 2010). Ou seja, se o tomador de decisão utiliza como *output* a de tonelada de carga transportada por unidade monetária de um conjunto de rotas para analisar a eficiência operacional, a unidade de medida nessa variável deve ser a mesma para todas as DMUs. Além disto, o método considera os *outliers*, onde é possível analisá-los como um *benchmark* a ser estudado pelas demais DMUs (LINS & MEZA, 2000).

Além da preocupação com a dimensão econômica, a sustentabilidade surgiu para integrar e equilibrar as dimensões ambientais e sociais (LOZANO, 2008). O conceito de sustentabilidade vem recebendo grande atenção da comunidade internacional diante das exigências por melhorias na qualidade de vida da sociedade pelo aumento dos impactos das mudanças climáticas por ações antrópicas, que alteram de alguma maneira a dinâmica dos ecossistemas, e pelas crises econômicas, que pressionam os setores econômicos por melhorias nos seus processos produtivos (DEY *et al.*, 2011; PALSSON e JOHANSSON, 2016).

### **3.2. Sustentabilidade aplicada no transporte de carga**

O conceito de sustentabilidade visava a reduzir o consumo de recursos nos processos produtivos. Entretanto, esse conceito evoluiu no decorrer do tempo, abordando também a

combinação de bem-estar econômico e social, tais como, justiça, saúde humana e integridade ambiental (LITMAN e BURWELL, 2006; GUIMARÃES, *et al.*, 2018).

O Relatório Brundtland WCED (1987) apresenta a definição de Desenvolvimento Sustentável como: a habilidade que a humanidade tem de assegurar que as suas necessidades sejam atendidas no presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir as suas próprias necessidades. O desenvolvimento sustentável traz à tona a necessidade de se estabelecer limites ao uso de recursos naturais, considerando a atual disponibilidade tecnológica e a forma como a sociedade (organização social) gerencia os recursos naturais e a capacidade da biosfera em absorver os efeitos das atividades humanas.

A fim de melhorar a sustentabilidade dos sistemas de transporte, cujo o conceito é atender às necessidades de transporte e mobilidade, sem comprometer a capacidade das gerações futuras para atender às suas próprias necessidades Richardson (1999), é necessário conhecer os seus impactos e utilizar indicadores para avaliá-los sobre as dimensões econômicas, ambientais e sociais, de modo que, posteriormente, as políticas e estratégias de sustentabilidade sejam desenvolvidas para diminuir os impactos avaliados (COTTRILL e DERRIBLE, 2015; DOBRANSKYTE-NISKOTA *et al.*, 2009).

Um sistema de transporte sustentável implica, portanto, no equilíbrio mais adequado (ótimo) das dimensões econômica, ambiental, social WCED (1987), viabilizando um aumento da qualidade da prestação de serviços logísticos (nível de serviço), do desenvolvimento econômico futuro, do meio ambiente e do bem-estar social (STEG E GIFFORD, 2005).

Kelle, *et al.* (2019) afirmam que os governos precisam assumir a liderança e motivar os setores de transportes a tornar prioridade a busca por operações logísticas mais sustentáveis. A aplicação de novas tecnologias nos veículos, como a utilização de combustíveis de origens renováveis (ou híbrida), geram menores impactos ambientais e sociais (MAROUSEK, 2013). Os transportes por ferrovia e hidrovia são melhores alternativas em algumas regiões. Entretanto, a multimodalidade parece ser geralmente a melhor alternativa. A Comissão Europeia abordou a questão do transporte intermodal, sugerindo iniciativas para a promoção de seu uso no transporte de mercadorias. Nos EUA, as soluções intermodais têm recebido atenção intensiva desde a promulgação da Lei de

Eficiência Intermodal de Transportes (ISTEA) e da Lei de Equidade de Transporte no século XXI (TEA21) (KELLE, *et al.*, 2019).

Para Bretzke (2011), Campos *et al.* (2019), Dekker *et al.* (2012), a sustentabilidade deve permear diversos setores econômicos, tais como, setor industrial e de manutenção, setor de comércio de bens e de serviços, setor de transportes, entre outros. No setor de transportes, a inserção desse conceito ficou em evidência diante dos impactos do intenso fluxo de transportes de mercadorias ao redor o mundo LITMAN (2019).

### **3.2.1. Sistemas de transportes sustentáveis**

As externalidades geradas no âmbito ambiental e social das operações de transportes de cargas atraíram grande interesse da comunidade científica Santos *et al.* (2013) e dos formuladores de políticas públicas (LITMAN e BURWELL, 2006; SANTOS e RIBEIRO, 2013; BUEHLER *et al.*, 2009). Diante disto, a gestão dos sistemas de transportes deve estar integrada às estratégias de desenvolvimento sustentável.

Para que isto se torne realidade, o sistema de transportes deve atender às necessidades econômicas (relações comerciais), ser de fácil acesso à população e estar estruturado de modo a minimizar o consumo de energia, as emissões de poluentes, garantindo a segurança e a alta qualidade de vida (FIGUEROA e RIBEIRO, 2013). Santos & Ribeiro (2013) afirmam que um setor de transportes sustentável deve considerar os aspectos sociais, ambientais e econômicos, posição corroborada por Litman e Burwell (2006); Guimarães *et al.* (2018).

Um Sistema de transportes sustentável possibilita a redução do consumo de energia, emissão de poluentes (GEE e CO<sub>2</sub>), diminui os custos de manutenção dos veículos, além da melhoria na segurança viária. Para isto, Zarkadoula & Zoidis (2007); Barth & Boriboonsomsin (2010), Barkenbus (2010), Hilmola *et al.* (2015) afirmam que é necessário realizar ações relacionadas à:

- transferência modal para alternativas de transporte com maior eficiência energética;
- utilização de fontes renováveis de energia;
- melhoria da infraestrutura de transportes existente e/ou utilização de novas tecnologias veiculares;
- gerenciamento da cadeia de suprimentos com foco na diminuição nas emissões de gases de efeito estufa; e

- economia circular com o objetivo de reutilizar produtos como matéria-prima para a produção de outros.

### **3.3. Medidas de desempenho econômica, ambiental e social**

Para que se possa controlar e acompanhar a eficiência sob os aspectos econômicos, ambientais e sociais das organizações, que visam à excelência nas suas atividades, a fim de aumentar a qualidade de seus serviços e a conquistar novos mercados consumidores, torna-se necessário estabelecer uma sistemática de avaliação de desempenho que leve em consideração processos adequados aos objetivos estabelecidos (LEAL JUNIOR, 2010; PRAUSE, 2014).

A ferramenta de avaliação de desempenho deve proporcionar contribuições que permitam comparar diferentes bases de informações e deve refletir o real diagnóstico da situação, permitindo identificar os pontos fortes da gestão, bem como os pontos fracos merecedores de maior atenção (GASPARETTO *et al.*, 2003; OLIVEIRA *et al.*, 2005).

Antoniolli (2003) cita que a necessidade do gerenciamento de um desempenho cada vez mais efetivo tem impulsionado as empresas a desenvolverem formas de monitorar e avaliar o desempenho.

Além disto, Nascimento *et al.* (2011) afirmam que os objetivos e as metas das organizações influenciam a avaliação de desempenho, refletindo, assim, nas atividades organizacionais, tanto no âmbito estratégico quanto no operacional. Portanto, a avaliação de desempenho é uma ferramenta que permite interpretar as medidas de desempenho, traduzindo um dado fenômeno na forma quantitativa ou qualitativa, onde um valor é atribuído naquilo que é considerado relevante para a organização (ZARY, 2015; DUTRA, 2003).

Segundo Ross *et al.* (2002), as medidas de desempenho podem ser conceituadas como valores gerados a partir de dois ou mais indicadores. De acordo com Matarazzo (2010), essas medidas possuem a capacidade de potencializar a conclusão sobre um estudo. Além disso, Neely *et al.* (1995) citam que essas medidas de desempenho são importantes, pois representam uma relação entre valores ou indicadores.

Os indicadores são instrumentos de gestão essenciais nas atividades de monitoramento e avaliação das organizações, pois permitem acompanhar o alcance das metas, identificar avanços, melhorias de qualidade, correção de problemas e necessidades de

mudança. Segundo Seges (2009), com os indicadores, é possível criar medidas de desempenho para comparar objetos de estudo.

Segundo Souza (2008), o processo de criação de instrumentos de mensuração é um dos maiores desafios da construção do desenvolvimento sustentável. Logo, um conjunto de indicadores econômicos, ambientais e sociais para a avaliação de desempenho em sustentabilidade será útil para viabilizar uma gestão mais atualizada e responsável.

De acordo com Neely (1998), um sistema de medição de desempenho permite que as decisões e ações sejam tomadas com base em informações sobre as ações passadas, por meio da coleta, exame, classificação, análise, interpretação e disseminação dos dados adequados. Nesse contexto, percebe-se que a avaliação de desempenho das organizações deve ser feita para cada uma das dimensões da sustentabilidade: indicadores ambientais, indicadores sociais e indicadores econômicos. Existe uma grande diversidade de indicadores de desempenho, sendo cada grupo mais adequado a um dado contexto ou universo de análise.

Na literatura recente, a aplicação dos indicadores econômicos, ambientais e sociais podem ser observados nos trabalhos de vários autores, relacionados com transporte de carga intermodal, desempenho, eficiência e sustentabilidade. Diante disto, foi utilizada uma combinação de palavras-chave na busca por artigos científicos, que foram: *freight transport, sustainability, intermodal freight transport, performance, efficiency*. Nesta pesquisa, foi dada a preferência por artigos oriundos de periódicos, sem repetições e com o título alinhado ao tema de pesquisa, cujo período de publicação foi entre 2010 e 2020.

**Tabela 3: Indicadores econômicos, ambientais e sociais**

<b>Autores</b>	<b>Título</b>	<b>Indicadores econômicos</b>	<b>Indicadores ambientais</b>	<b>Indicadores sociais</b>
Van Fan <i>et al.</i> (2018)	A review on air emissions assessment: Transportation		Emissões (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O) e Poluentes do ar (CO, NMVOC, VOC, HC, NO <sub>x</sub> , PM <sub>10</sub> , PM, SO <sub>2</sub> )	
Regmi <i>et al.</i> (2012)	Assessment of intermodal transport corridors: Cases from North-East and Central Asia	Tempo, Custos, Distância		
Valderrama <i>et al.</i> (2019)	Challenges in greenhouse gas mitigation in developing countries: A case study of the Colombian transport sector	Demanda de Viagens, Consumo de Combustíveis, Custos	CO <sub>2</sub>	Congestionamentos, Acidentes
Fan, Yun <i>et al.</i> (2019)	Flow consolidation in hinterland container transport: An analysis for perishable and dry cargo	Distância, Tipo de Carga, Custos	Poluição do ar, CO <sub>2</sub>	Congestionamentos
Hosseini-Nasab & Lotfalian (2017)	Green routing for trucking systems with classification of path types	Consumo de combustível, Custos, Tempo, velocidade	Poluição ambiental	
Hanssen <i>et al.</i> (2012)	Generalized transport costs in intermodal freight transport	Distância, Custos		
Prata & Arsenio (2017)	Assessing intermodal freight transport scenarios bringing the perspective of key stakeholders	Velocidade, Custos, Peso	CO <sub>2</sub>	Segurança
Lee & Wu (2014)	Integrating sustainability performance measurement into logistics and supply networks: A multi-methodological approach	Distância, Tempo, Custos	CO <sub>2</sub>	
Caris <i>et al.</i> (2014)	Integration of inland waterway transport in the intermodal supply chain: a taxonomy of research challenges		CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , PM, NO <sub>x</sub>	Ruído, acidentes
Wiegmans & Konings (2015)	Intermodal Inland Waterway Transport: Modelling Conditions Influencing Its Cost Competitiveness	Distância, Capacidade, Custos		
Furtado & Frayret (2015)	Proposal sustainability assessment of resource sharing in intermodal freight transport with agent-based simulation	Distância, Tempo, Custos	CO <sub>2</sub>	Tempo gasto em casa por motorista de caminhão.
Reis <i>et al.</i> (2013)	Rail and multi-modal transport	Tempo, Distância, Consumo de energia	CO <sub>2</sub>	Segurança
Miranda Pinto <i>et al.</i> (2018)	Road-rail intermodal freight transport as a strategy for climate change mitigation	Consumo de combustíveis, Custos	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , hidrocarbonetos e material particulado	

Behrends (2012)	The significance of the urban context for the sustainability performance of intermodal road-rail transport	Distância	CO <sub>2</sub>	Congestionamento
Kumar & Anbanandam (2020)	Assessment of environmental and social sustainability performance of the freight transportation industry: An index-based approach	Distância	CO <sub>2</sub>	Oportunidades de emprego igual, segurança
Mostert & Limbourg (2017)	Road and intermodal transport performance: the impact of operational costs and air pollution external costs	Custos, Distância, Capacidade,	Poluição do ar	Saúde
Branco <i>et al.</i> (2020)	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	Custos	CO <sub>2</sub>	
Yang <i>et al.</i> (2011)	Analysis of intermodal freight from China to Indian Ocean: A goal programming approach	Custos, Tempo		
Prata & Arsenio (2017)	Assessing intermodal freight transport scenarios bringing the perspective of key stakeholders	Velocidade	CO <sub>2</sub>	
Saeedi <i>et al.</i> (2019)	Assessing the technical efficiency of intermodal freight transport chains using a modified network DEA approach	Custos, Frequência, Distância		
Jiang <i>et al.</i> (2019)	Impacts of the New International Land–Sea Trade Corridor on the Freight Transport Structure in China, Central Asia, the ASEAN countries and the EU	Custos, Tempo		
Havenga <i>et al.</i> (2019)	Macrologistics instrumentation: Integrated national freight flow and logistics cost measurement	Custos, Volume, Distância, Densidade		
Abbassi <i>et al.</i> (2019).	Robust optimisation of the intermodal freight transport problem: Modeling and solving with an efficient hybrid approach	Custos, Capacidade		
Wang <i>et al.</i> (2014)	A bilevel multi-objective road pricing model for economic, environmental and health sustainability	Custo do trajeto, Custo do Pedágio, Tempo de Viagem	Emissões CO	Saúde

Bouchery & Fransoo (2015)	Cost, carbon emissions and modal shift in intermodal network design decisions	Custos, Distância, Volume	Emissões de CO <sub>2</sub>	
Kumar & Anbanandam (2019)	Development of social sustainability index for freight transportation system			Oportunidades de emprego, Compensação e estabilidade do trabalhador, Práticas de saúde e segurança, Treinamento e Desenvolvimento, Contrato de trabalho, Contribuição para a saúde e educação, Práticas de segurança, Habitação e infraestrutura de serviços, Regulamentação governamental, Envolvimento cultural, Audiência coletiva, Audiência seletiva, Empoderamento das partes interessadas, Potencial de influência da decisão, Desempenho socioeconômico, Desempenho socioambiental
Mostert & Limbourg (2016)	External Costs as Competitiveness Factors for Freight Transport — A State of the Art	Custo, Distância, Densidade	Poluição do ar, mudanças climáticas,	Ruído, acidentes, congestionamento
Mostert & Limbourg (2018)	Intermodal network design: a three-mode bi-objective model applied to the case of Belgium	Custo, Distância, Capacidade	Emissão de CO <sub>2</sub>	
Muñoz-Villamizar <i>et al.</i> (2020)	Measuring environmental performance of urban freight transport systems: A case study	Distância, Consumo de combustível, Tempo, Custo	Emissão de CO <sub>2</sub>	
Zhang <i>et al.</i> (2013)	Optimization of multimodal networks including environmental costs: A model and findings for transport policy	Custo, Capacidade, Velocidade, Distância, Tempo	Emissão de CO <sub>2</sub>	
Oberhofer & Dieplinger (2014)	Sustainability in the Transport and Logistics Sector: Lacking Environmental Measures	Custo, Consumo de Combustível, Capacidade, Distância	Emissão de CO <sub>2</sub> , NOx, consumo de energia	Treinamento de motoristas, Educação ambiental, ruído
Pan <i>et al.</i> (2013)	The reduction of greenhouse gas emissions from freight transport by pooling supply chains	Custo	Emissão de CO <sub>2</sub>	

**Fonte:** Elaboração própria

### 3.4. Indicadores para avaliação de desempenho

A Tabela 3 apresentou um conjunto de variáveis relacionados aos indicadores econômicos, ambientais e sociais para avaliação de desempenho associadas à sustentabilidade. Como as variáveis dos indicadores podem ser encontradas com diferentes interpretações na literatura, torna-se importante a descrição de cada uma para o conhecimento do viés adotado neste estudo.

O transporte é um dos maiores contribuintes para emissão dos gases de efeitos estufa (GEE) e da emissão dos poluentes do ar (Van Fan *et al.*, 2018). Os Gases de Efeito Estufa (GEE), como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorcarbonetos (HFCs), perfluorocarbonetos (PFCs), hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>) e trifluoreto de nitrogênio (NF<sub>3</sub>) (UNCC, 2018) são conhecidos por contribuir para as mudanças climáticas. Já os poluentes do ar como monóxido de carbono (CO), contaminantes (por exemplo, Pb), compostos orgânicos voláteis (COV), óxido de enxofre (SO<sub>x</sub>) e óxido de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) (EPA, 2016) têm um impacto instantâneo no meio ambiente e na saúde humana. Eles contribuem para a formação de poluentes secundários (HARRISON, 1986), como ozônio (O<sub>3</sub>), e material particulado (PM) que causam na atmosfera a formação de neblina ou poluição atmosférica. Então, a avaliação ambiental da emissão desses gases é desafiadora devido aos seus diferentes impactos ao meio ambiente e à saúde humana.

Para avaliar o desempenho dos transportes intermodais, as variáveis dos indicadores econômicos levantados na Tabela 3 foram custo, tempo, velocidade, tipo de carga e distância. Na pesquisa de Regmi *et al.* (2012), o tempo e o custo do transporte foram afetados pela má qualidade da infraestrutura, em consequência da existência de uma única linha ferroviária, da falta de locomotivas, e da baixa frequência operacional de trens de carga. Fan *et al.* (2019) concluem que a distância e o tipo de carga são fatores importantes para o desempenho do fluxo na logística. Já na pesquisa de Hosseini-Nasab & Lotfalian (2017), compara-se o mesmo par de origem e destino com uma rota alternativa com diferentes distâncias e velocidades, resultando em um menor consumo de combustível e em um menor custo, minimizando os efeitos da poluição. Prata & Arsenio (2017) também analisam o impacto dos cenários de transportes intermodais, concentrando-se nas variáveis operacionais e ambientais mais críticas, como velocidade e emissões de CO<sub>2</sub>. Já Lee & Wu (2014) consideraram

importante o fator de desempenho ambiental (emissões de CO<sub>2</sub>) e o fator de desempenho monetário (custo) na tomada de decisões corporativas “sustentáveis” na área de logística.

Segundo Wang *et al.* (2014), é um desafio melhorar a dimensão social devido à existência de muitos custos externos associados ao transporte, incluindo congestionamento, custos associados às emissões de veículos e ruído do tráfego e custos de acidentes de trânsito, entre outros. Por exemplo, enquanto os usuários pagam pelos custos internos (por exemplo, custos operacionais do veículo), os custos externos (por exemplo, impactos ambientais e de saúde dos gases de efeito estufa – GEE e poluentes das emissões veiculares) permanecem não pagos pelos usuários que os geram.

Segundo Valderrama *et al.* (2019), Prata & Arsenio (2017) e Fan *et al.*, (2019) as variáveis dos indicadores sociais que se destacaram foram acidentes e congestionamento que podem ser caracterizados pelos efeitos diretos e indiretos promovidos pelo transporte rodoviário devido à exposição a pavimentos ruins ou condições climáticas desfavoráveis e suscetibilidade ao tráfego em ambientes urbanos. Outra variável importante é a saúde humana, que está relacionada também com o impacto da poluição do ar do transporte rodoviário na sociedade. Mostert *et al.* (2017) ratificam que é possível identificar o desempenho do transporte rodoviário e intermodal por meio dos custos operacionais e da saúde humana e relacioná-los com a poluição do ar.

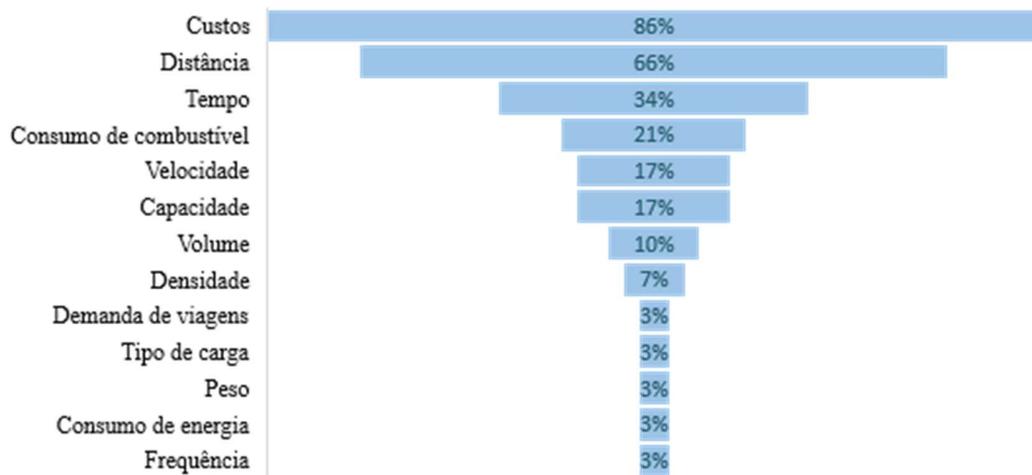
Já a pesquisa do Kumar & Anbanandam (2019) destacou 16 dimensões de sustentabilidade social do transportes, tais como: Oportunidades de emprego, Compensação e estabilidade do trabalhador, Práticas de saúde e segurança, Treinamento e desenvolvimento, Contrato de trabalho, Contribuição para a saúde e educação, Práticas de segurança, Habitação e infraestrutura de serviços, Regulamentação governamental, Envolvimento cultural, Audiência coletiva, Audiência seletiva, Empoderamento das partes interessadas, Potencial de influência da decisão, Desempenho socioeconômico e Desempenho socioambiental. Essa pesquisa discute várias questões sociais, abordando como uma empresa de transporte pode continuar a fornecer os melhores recursos humanos internos, contribuir com as comunidades externas, melhorar o relacionamento com as partes interessadas e aprimorar seu desempenho macrossocial.

Neste contexto, pode-se observar que o foco maior entre os estudos apresentados foi as variáveis dos indicadores econômicos. Além disso, outro aspecto importante é a integração

entre os indicadores econômicos, ambientais e sociais, pois, melhorando o desempenho econômico, possibilita-se a diminuição da poluição do ar (indicador ambiental) e consequentemente a redução do impacto na saúde da sociedade.

Após a análise qualitativa das variáveis dos indicadores econômicos, ambientais e sociais de sistemas de transportes, foram realizadas as análises quantitativas do percentual de frequência de repetição das variáveis em relação ao número de artigos por tipo de indicador. A quantidade de artigos que abordou as variáveis dos indicadores econômicos foi 91%, que abordou os indicadores ambientais foi 72% e que abordaram os indicadores sociais foi 41%. Essas análises estão descritas na Figura 15, na Figura 16 e na Figura 17. As variáveis dos indicadores econômicos foram detalhadas na Figura 15.

**Figura 14:** Indicadores Econômicos

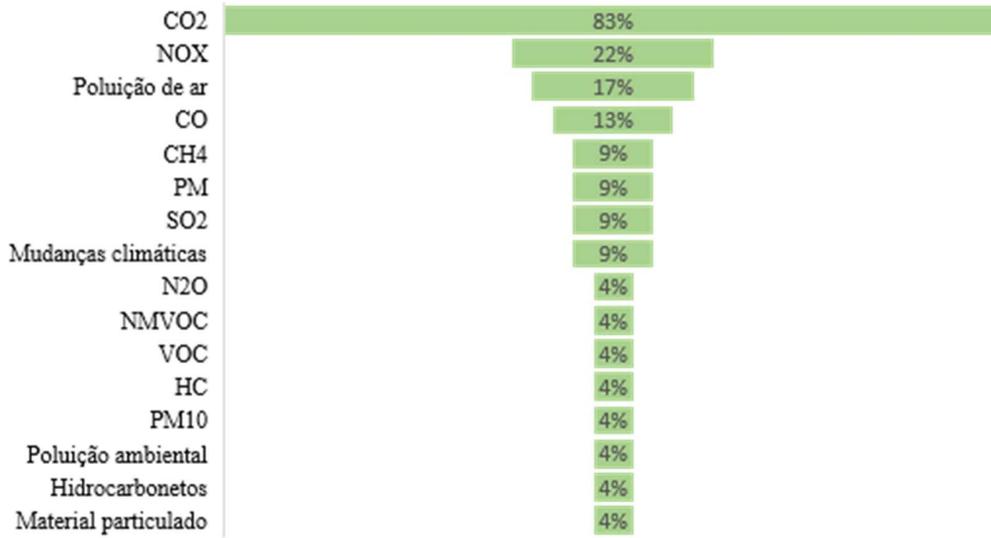


**Fonte:** Elaboração própria

De acordo com a Figura 15, pode-se observar que os indicadores Custos, Distância e Tempo foram os que mais se destacaram, correspondendo respectivamente a 86%, 66% e 34%. No entanto, foi observado menos interesse em medir as variáveis dos indicadores Peso, Consumo de energia e Frequência.

Nos artigos encontrados, os indicadores ambientais são representados pela Figura 16.

**Figura 15: Indicadores Ambientais**

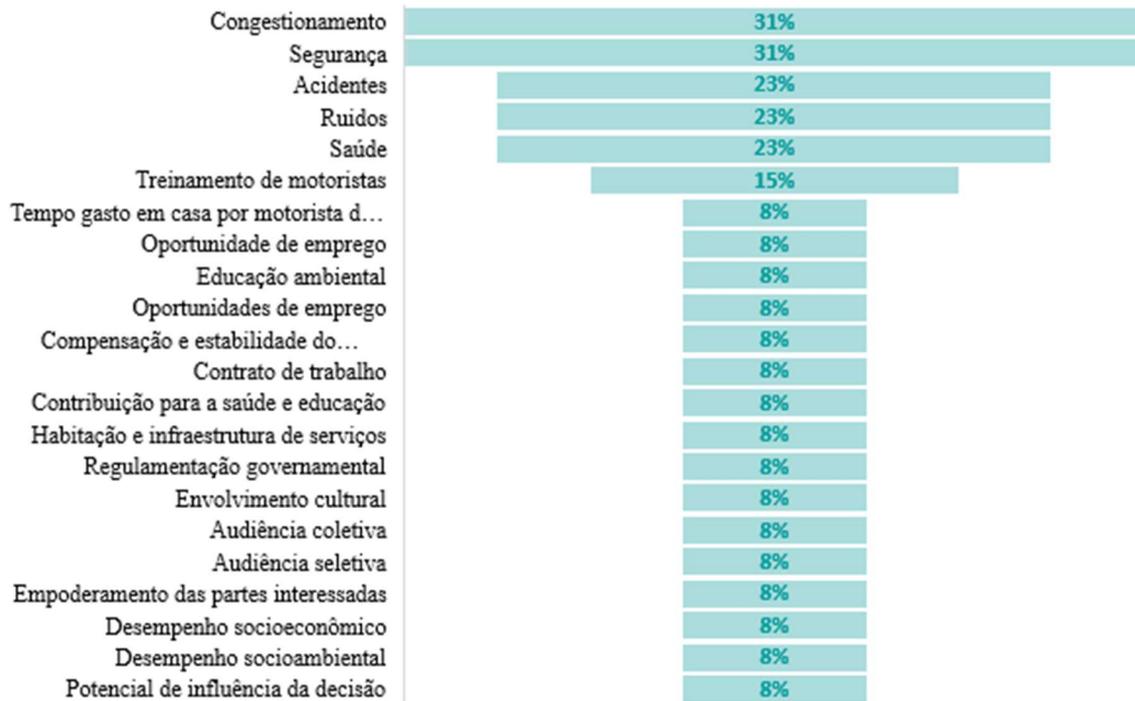


**Fonte:** Elaboração própria

As três variáveis dos indicadores ambientais que tiveram os maiores percentuais foram o CO<sub>2</sub>, o NO<sub>x</sub> e a Poluição de ar, demonstrando uma maior preocupação dos autores em medir essas variáveis dos sistemas de transportes.

As variáveis dos indicadores sociais são caracterizadas pelos itens apresentados na Figura 17.

**Figura 16:** Indicadores Sociais



**Fonte:** Elaboração própria

Pode-se observar que o foco maior entre as variáveis dos indicadores sociais apresentadas foi Congestionamento e Segurança, correspondendo a 31%. Além disso, as variáveis Acidentes, Ruídos e Saúde apresentaram 23% cada.

Apesar das variáveis dos indicadores sociais apresentarem uma maior quantidade em relação às variáveis dos indicadores econômicos e ambientais, apenas 41% dos artigos se preocuparam em medir as variáveis dos indicadores sociais, enquanto as variáveis dos indicadores econômicos apresentaram 91% e as variáveis dos indicadores ambientais apresentaram 72%, demonstrando uma maior representatividade.

Além disso, somente 22% dos artigos se preocuparam em medir os três pilares da sustentabilidade, as variáveis dos indicadores econômicos, ambientais e sociais, concomitantemente, surgindo uma oportunidade de ampliação do estudo envolvendo esses três tipos de variáveis.

### **3.5. Considerações finais**

Como uma primeira contribuição ao entendimento dos indicadores econômicos, ambientais e sociais, buscou-se, segundo o parecer dos autores encontrados na literatura especializada em transporte de carga, sintetizar e relacionar as dimensões econômicas, ambientais e sociais que contribuirão para medir o desempenho das rotas e a resiliência do sistema de transportes do estado de Mato Grosso.

A elaboração da Tabela 3: Indicadores econômicos, ambientais e sociais representa uma contribuição à compreensão de como diferentes autores abordam os indicadores econômicos, ambientais e sociais do transporte intermodal de carga e permite destacar a importância da integração dos 3 pilares da sustentabilidade. Outra contribuição está relacionada com as análises quantitativas do percentual de frequência de repetição das variáveis em relação ao número de artigos por tipo de indicador. E foi constatado uma maior frequência nos indicadores econômicos e ambientais, uma menor frequência nos indicadores sociais e uma pouca preocupação em medir os três pilares da sustentabilidade concomitantemente. Entretanto, ainda não foi discutido sobre os conceitos de resiliência. Assim sendo, no próximo capítulo, serão detalhados os conceitos de resiliência aplicados ao sistema de transporte de cargas e serão identificados os tipos de ameaças que podem impactar o sistema de transporte de carga.

## 4. RESILIÊNCIA NO SISTEMA DE TRANSPORTE

### 4.1. Considerações iniciais

Para conceituar resiliência e as ameaças associadas, foi realizada uma revisão sistemática. As principais bases de pesquisa utilizadas foram o Web of Science e Scopus, utilizando as seguintes palavras-chave listadas na Tabela 4.

**Tabela 4:** Critérios para pesquisa dos conceitos da resiliência e das ameaças associadas aos sistemas de transportes

Palavras-Chave	Base
“Resilience” AND “Transport System”	Scopus
“Resilience” AND “Transport System”	Web of Science
“Risks” AND “transport”	Scopus
“Risks” AND “transport system”	Web of Science

Fonte: Elaboração própria

As buscas obtidas com os critérios de pesquisa adotados na Tabela 4 resultaram em um total de artigos repetitivos, de periódicos e congressos e que poderiam estar ou não alinhados com o tema de pesquisa. Objetivando selecionar artigos com sua credibilidade garantida, foram considerados aqueles oriundos apenas de periódicos. Posteriormente, foram eliminados os repetidos. Desses artigos, foram descartados os que não estavam alinhados ao tema. Com isso, o portfólio contou com artigos oriundos de periódicos, sem repetições e com o título alinhado ao tema de pesquisa.

A partir dos artigos selecionados, foi realizada a leitura de todos os resumos. Os artigos que fizeram parte da construção desse trabalho foram aqueles que apresentavam no mínimo o conceito de resiliência e/ou o levantamento de ameaças que poderiam afetar o sistema de transporte.

### 4.2. A Relação entre os conceitos de resiliência

Nossas sociedades são altamente dependentes de uma série de sistemas críticos de infraestrutura, incluindo energia elétrica, transporte, abastecimento de água e tratamento de esgoto, informação e comunicação e sistemas bancários. Esses sistemas têm se tornado cada vez mais complexos e interdependentes e isso faz com que aumente a preocupação de que

um deles apresente falhas e, assim, afete todos os outros (MATTSSON & JENELIUS, 2015; SPAANS & WATERHOUT, 2017).

A rede de transporte de mercadorias é um componente essencial da economia, pois suporta as cadeias de suprimento conectando as origens espacialmente separadas dos destinos de oferta e demanda. Como tal, precisa ser robusta e resiliente para apoiar e melhorar o desenvolvimento econômico.

Para VTPI (2014), a resiliência tende a aumentar se um sistema tem diversidade, redundância, eficiência, autonomia e força em seus componentes críticos. Isso permite que o sistema continue a funcionar mesmo que um componente seja quebrado e se um determinado recurso se torne escasso.

Para que os aspectos que envolvem a resiliência fossem mais bem compreendidos, recorreu-se a uma revisão sistemática, que tem como objetivo entender os seus significados e suas fundamentações teóricas. De todos os conceitos detalhados na Tabela 5, os autores Bruneau *et al.* (2007) e Rose (2004) se diferenciaram por definir o conceito de resiliência abordando as seguintes propriedades: Robustez, Redundância/Flexibilidade, Restauração/Recursos e Rapidez. Então, procurou-se estabelecer uma inter-relação entre o conceito desses autores para analisar se essas propriedades estão contidas nos conceitos dos demais autores.

Para um melhor entendimento, segue o detalhamento das propriedades:

- Robustez: a potência, ou a capacidade de elementos, sistemas e outras unidades de análise em suportar um determinado nível de estresse ou demanda sem sofrer degradação ou perda da função;
- Redundância/Flexibilidade: existência de elementos, sistemas ou outras unidades de análise substitutos, isto é, capaz de satisfazer os requisitos funcionais em caso de ruptura, degradação ou perda de funcionalidade;
- Restauração/Recursos: a capacidade de diagnosticar e priorizar os problemas e iniciar soluções, identificando e mobilizando recursos materiais, monetários, de informação e tecnologia e de recursos humanos;
- Rapidez: capacidade de atender às prioridades e atingir os objetivos em tempo hábil a fim de conter as perdas e evitar uma interrupção prolongada.

Para não existir dúvidas entre as propriedades redundância e flexibilidade, alguns conceitos mais detalhados são necessários. Redundância envolve capacidade que pode ou não ser utilizada, sendo que a capacidade adicional é aquela utilizada para reposição da capacidade perdida por uma ruptura. No entanto, essa reposição da capacidade perdida está associada com a flexibilidade, que é um amortecedor da operação, permitindo que a operação não pare seu trabalho mesmo com todas as variações externas. Para Slack (1983, 1987), a amplitude da flexibilidade diz respeito ao nível e ao tamanho da adaptação de um sistema, o que está relacionado com sua capacidade. Posteriormente, Koste e Malhotra (1999, 2000) e Koste *et al.* (2004) subdividiram o elemento amplitude em (i) número de opções possíveis, e (ii) heterogeneidade, isto é, o grau de diferenciação entre recursos/opções do sistema. Essa visão é complementada pela abordagem que associa a flexibilidade à disponibilidade de opções (por exemplo, opções de rotas, opções de modos de transportes, peças sobressalentes ou equipamento de *backup*), pré-posicionando recursos para antecipar potenciais atividades de recuperação, implementação de tecnologias avançadas e treinamento que podem ser usados como resposta aos distúrbios.

**Tabela 5:** Inter-relação entre os conceitos de resiliência e as propriedades

Autores	Conceitos de Resiliência	BRUNEAU <i>et al.</i> (2006)				
		Robustez	Redundância/ Flexibilidade	Restauração	Rapidez	
Comfort (1999)	Adaptar os recursos e as competências existentes a novas situações e condições de operação.		X	X		
Bruneau <i>et al.</i> (2004)	Levar uma restauração gradual aos níveis normais.			X		
Meerow <i>et al.</i> (2016)	Manter ou retornar rapidamente as funções desejadas, adaptar à mudança, e transformar rapidamente sistemas que limitam a capacidade adaptativa atual ou futura.	X	X	X	X	
Osogami <i>et al.</i> (2013)	Sistema de transportes resiliente possibilita uma rápida evacuação, resgate e distribuição de suprimentos de assistência, entre outras atividades			X	X	

	que reduzem o impacto de desastres naturais e aceleram a recuperação.				
Battelle (2007 <i>apud</i> King, 2015)	Possibilita ao sistema compensar suas perdas e permite que o mesmo funcione inclusive quando sua infraestrutura está destruída ou danificada.	X		X	
Heaslip <i>et al.</i> (2009 <i>apud</i> Serulle, 2011) e Heaslip <i>et al.</i> (2010 <i>apud</i> King, 2015)	Manter seu nível de serviço ou de retornar a este dentro de um prazo específico	X		X	X
Tamvakis e Xenidis (2012)	Capacidade de um sistema em reagir a estresses que desafiam seu desempenho.			X	
Ortiz <i>et al.</i> (2009)	Prover serviços na presença de pequenas perturbações e se recuperar rapidamente de grandes rupturas.	X		X	X
Chan e Schofer (2015)	Capacidade deste em vivenciar um evento negativo, potencialmente prejudicial e retornar a um estado de operação saudável em um tempo razoável.			X	X
Zhao <i>et al.</i> (2013)	Menor capacidade adaptativa em relação a outros sistemas urbanos, pois, uma vez que sua infraestrutura é construída, é difícil de mudar.	X			
VTPI (2017)	Capacidade do sistema em acomodar condições variáveis e inesperadas sem uma falha catastrófica, refletindo assim a incerteza ou a incapacidade de saber qual combinação de condições irá ocorrer no futuro.	X			
Murray-Tuite (2006)	Resiliência em uma rede rodoviária como a propriedade que indica a <i>performance</i> da rede sob condições incomuns, sua velocidade de resposta, e a quantidade de suporte externo necessário para a restauração de seu estado funcional original.			X	X

Adams <i>et al.</i> (2012)	Capacidade em absorver os efeitos de uma ruptura e retornar rapidamente a níveis de operação normais.			X	X
Leu <i>et al.</i> (2010)	Caracteriza a resiliência em redes como a capacidade em manter o foco e atender seus objetivos principais frente a desafios ao redor do ambiente operacional.	X			
Adjetey-Bahun <i>et al.</i> (2016)	Capacidade da rede de mitigar os perigos, conter seus efeitos e se recuperar rapidamente com a menor redução da qualidade de vida possível. Dessa forma, uma rede de transportes resiliente reduz a probabilidade de falhas, suas consequências e o tempo de recuperação.			X	X
Fotouhi <i>et al.</i> (2017)	Capacidade em suportar um evento de ruptura e se adaptar rapidamente por meio de ações imediatas.	X	X		X
Dojutrek <i>et al.</i> (2016)	Capacidade do ativo em suportar a ameaça.	X			
Hughes e Healy (2014)	Capacidade dos setores público, privado e civil em suportar rupturas, absorver perturbações, agir efetivamente em uma crise, adaptar-se a condições variáveis (incluindo mudança climática) e crescer ao longo do tempo.	X	X	X	X
Ponomarov e Holcomb (2009a)	Capacidade de a cadeia de suprimentos preparar-se para eventos inesperados e responder às rupturas por meio da recuperação da continuidade das operações no nível desejado de conectividade e controle entre as funções e as estruturas.			X	
Christopher e Peck (2004)	A habilidade de um sistema retornar a seu estado original, ou a um estado mais desejado do que o anterior, após sofrer alguma ruptura.			X	

Starr <i>et al.</i> (2003)	É a habilidade e a capacidade de suportar discontinuidades da rede e adaptar-se ao novo risco do ambiente.	X			
VTPI (2014)	Um termo emprestado da física, que transita entre aspectos físicos, biológicos e psíquicos e significa a capacidade de um corpo voltar ao seu estado natural depois de uma adversidade. Refere-se à propriedade de alguns materiais de acumular energia quando submetidos a estresse e forças externas, sem ocorrer uma ruptura. Também no campo da psicologia, o termo foi incorporado para explicar a capacidade de um indivíduo de lidar com obstáculos, pressões e situações adversas, a ponto de não entrar em crise ou surto. Na biologia, a palavra retrata o potencial de um ecossistema de retornar à condição original após perturbações ambientais	X		X	
Foster (1993) e VTPI (2014)	Resiliência (também chamado de confiabilidade e gestão de riscos) refere-se à capacidade de um sistema para acomodar condições variáveis e inesperadas, sem falha catastrófica, ou a capacidade de absorver choques.	X			
Bruneau <i>et al.</i> (2003 e 2006)	Redução das probabilidades de falha; Redução das consequências de falhas, em termos de vidas perdidas, danos e consequências econômicas e sociais negativas; e Redução do tempo de recuperação (restauração de um sistema específico ou um conjunto de sistemas para o seu nível "normal" de desempenho funcional).			X	X
Nogueira (2002), Cerri (1998) e Nogueira (2011)	Capacidade de resposta de uma determinada população supostamente afetada por um acidente, ou seja, habilidade das pessoas em reagir ao sinistro e em recuperar a condição normal, anterior ao acidente.			X	

Nunes (2009B) e Zamparoni <i>et al.</i> (2011)	Capacidade para se recuperar dos danos.			X	
Turnquist & Vugrin (2013)	Capacidade de um sistema de suportar, adaptar-se e recuperar de maneira oportuna a partir dos efeitos de um evento perturbador.	X	X	X	
Holling (1973)	A resiliência mede a capacidade de um sistema para lidar com mudanças que ocorrem dentro ou fora do sistema.	X			
Christopher & Rutherford (2004)	Seu foco é manter o desempenho de um sistema ou alcançar um resultado mais desejado.	X			
Rose (2006)	Resiliência compreende duas dimensões, ou seja, ser inerente e adaptabilidade.		X		
Carvalho & Cruz Machado (2012)	Construindo resiliência em um sistema diz respeito a tentar assegurar a sua recuperação dos efeitos adversos dentro de um período aceitável de tempo e a um custo adequado, reduzindo ao máximo os efeitos adversos das mudanças.			X	X
Miller-Hooks <i>et al.</i> (2012)	Resiliência envolve a capacidade inerente da rede de lidar com perturbação por meio dos seus atributos topológicos e operacionais e ações potenciais que podem ser tomadas imediatamente após um evento de ruptura ou desastre dado um orçamento fixo.			X	
Clark <i>et al.</i> (2016)	Resiliência é a capacidade de minimizar e recuperar-se das conseqüências de um evento adverso, seja natural ou causado por um determinado estado do sistema.			X	

**Fonte:** Elaboração própria

Para compreender a relação dos conceitos com as propriedades que foram abordadas na tabela anterior, foi realizada a Tabela 6 com o agrupamento de todos os conceitos relacionados com cada propriedade.

**Tabela 6:** Detalhamento dos conceitos relacionados com cada propriedade

<b>Propriedades</b>	<b>Conceitos</b>	<b>Autores</b>
Redundância/ Flexibilidade	Adaptar os recursos e as competências existentes	Comfort (1999), Meerow <i>et al.</i> (2016), Zhao <i>et al.</i> (2013), Hughes & Healy (2014), Starr <i>et al.</i> (2003), Turnquist & Vugrin (2013), Rose (2006), Fotouhi <i>et al.</i> (2017)
	Adaptar à mudança	
	Adaptar rapidamente por meio de ações imediatas	
	Adaptar a condições variáveis (incluindo mudança climática)	
Restaurar	Novas situações e condições de operação	Comfort (1999), Meerow <i>et al.</i> (2016), Osogami <i>et al.</i> (2013), Adjetey-Bahun <i>et al.</i> (2016), Adjetey-Bahun <i>et al.</i> (2016), Ponomarov & Holcomb (2009), Bruneau <i>et al.</i> (2003 e 2006), Carvalho & Cruz Machado (2009), Heaslip <i>et al.</i> (2009 <i>apud</i> Serulle, 2011), Heaslip <i>et al.</i> (2010 <i>apud</i> King, 2015), Chan & Schofer (2015), Adams <i>et al.</i> (2012), Christopher & Peck (2004), VTPI (2014), Tamvakis & Xenidis (2012), Nogueira (2002), Cerri & Nogueira (2011), Murray-Tuite (2006), Bruneau <i>et al.</i> , 2004, Miller-Hooks <i>et al.</i> (2011), Ibanez <i>et al.</i> (2016)
	Transformar	
	Recuperação	
	Retornar ao nível de serviço	
	Reagir a estresses	
	Retornar a um estado de operação saudável	
	Restauração de seu estado funcional original	
	Retornar rapidamente a níveis de operação normais	
	Responder às rupturas por meio da recuperação da continuidade das operações	
	A habilidade de um sistema retornar a seu estado original, ou a um estado mais desejado	
	Capacidade de um corpo voltar ao seu estado natural depois de uma adversidade	
Ações potenciais que podem ser tomadas imediatamente após um evento de ruptura ou desastre dado um orçamento fixo		
Minimizar e recuperar-se das conseqüências de um evento adverso		
Robustez	Funcionar inclusive quando sua infraestrutura está destruída ou danificada	Battelle (2007 <i>apud</i> King, 2015), Ortiz <i>et al.</i> (2009), Chan & Schofer (2015), Zhao <i>et al.</i> (2013), VTPI (2017), Adams <i>et al.</i> (2012), Leu <i>et al.</i> (2010), Adjetey-Bahun <i>et al.</i> (2016), Fotouhi <i>et al.</i> (2017), Dojutrek <i>et al.</i> (2016), Hughes & Healy (2014), Starr <i>et al.</i> (2003), Foster (1993), VTPI (2014), Turnquist & Vugrin (2013)
	Prover serviços na presença de pequenas perturbações	
	Capacidade deste em vivenciar um evento negativo, potencialmente prejudicial. Uma vez que sua infraestrutura é construída, é difícil de mudar	
	Capacidade do sistema em acomodar condições variáveis e inesperadas	
	<i>Performance</i> da rede sob condições incomuns	
	Capacidade em absorver os efeitos de uma ruptura	
	Capacidade em manter o foco e atender seus objetivos principais	
	Capacidade em suportar um evento de ruptura	
	Capacidade do ativo em suportar a ameaça	
	Capacidade de suportar descontinuidade	
Também no campo da psicologia, o termo foi incorporado para explicar a capacidade de um indivíduo de lidar com obstáculos, pressões e situações adversas, a ponto de não entrar em crise ou surto, refere-se à capacidade de um sistema para acomodar condições variáveis e inesperadas, sem falha catastrófica, ou a capacidade de absorver choques graciosamente.		

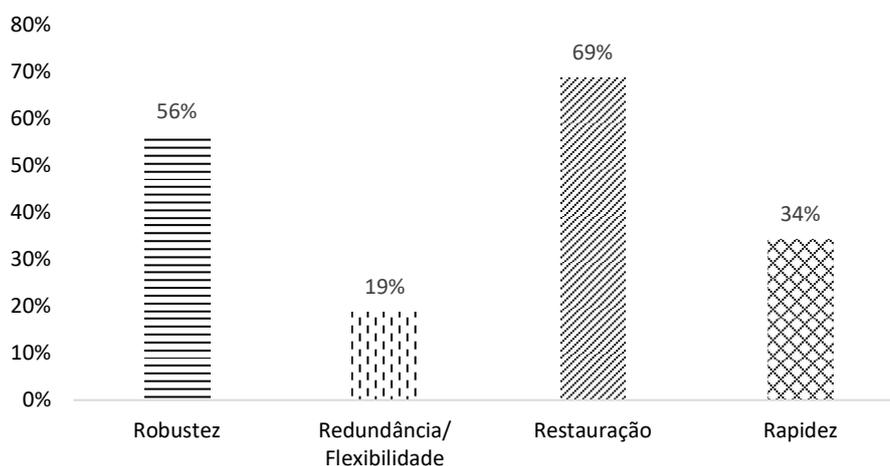
Rapidez	Transformar rapidamente	Meerow <i>et al.</i> (2016), Ortiz <i>et al.</i> (2009), Adams <i>et al.</i> (2012), Adjetey-Bahun <i>et al.</i> (2016), Heaslip <i>et al.</i> (2009 <i>apud</i> Serulle, 2011), Heaslip <i>et al.</i> (2010, <i>apud</i> King, 2015), Ortiz <i>et al.</i> (2009), Adams <i>et al.</i> (2012, Chan & Schofer (2015), Murray-Tuite (2006)
	Acelerar a recuperação	
	Rápida evacuação, resgate	
	Prazo específico	
	Recuperar rapidamente	
	Tempo razoável	
	Velocidade de resposta	
	Retornar rapidamente	

Fonte: Elaboração própria

Por meio da análise da relação entre os conceitos e as propriedades, todos os autores que abordaram “adaptar após um evento de ruptura” foram relacionados com flexibilidade, isto é, mesmo com a interrupção, o sistema se adaptou e continuou funcionando. Os que abordaram novas situações, como “transformar”, “recuperar”, “retornar”, “reagir”, “restaurar após um evento de ruptura” foram relacionados com restauração, isto é, será iniciada uma solução após uma interrupção. Já os conceitos “absorver”, “manter” e “suportar os efeitos de uma ruptura”, foram relacionados com Robustez. E todos que citaram “acelerar”, “rápida”, “prazo específico”, “tempo razoável”, “velocidade de resposta após uma interrupção” foram relacionados com Rapidez.

Foi realizado também um gráfico para analisar de forma quantitativa a relação entre as propriedades e os conceitos de resiliência conforme a Figura 18.

Figura 17: Propriedades da Resiliência



Fonte: Elaboração própria

Por meio da análise das definições apresentadas na Tabela 5, observa-se que não existe um conceito único para a resiliência. Assim, buscando uma forma de análise dos

conceitos de resiliência, foi constatado que os conceitos relacionados com restauração e robustez foram os que mais se destacaram com 69% e 56% respectivamente, conforme a Figura 1. No entanto, as propriedades rapidez e redundância/flexibilidade também foram citadas nos conceitos de Resiliência com 34% e 19% respectivamente. Então, pode-se ratificar que as quatro propriedades estão contidas nos conceitos de resiliência, que todos os conceitos abordaram pelo menos uma propriedade e que todos os conceitos relataram que ela só ocorre após uma interrupção, um choque, um dano, uma adversidade, uma falha, um sinistro, um evento perturbador entre outros.

#### **4.3. Relação entre perigos ou ameaças, riscos e vulnerabilidade**

O objetivo geral da maioria das políticas de trânsito nacionais de hoje é fornecer à sociedade uma rede de transporte econômica e sustentável (BERDICA, 2002). No entanto, existem muitos perigos ou ameaças que podem ocasionar consequências indesejáveis em uma rede de transportes. Esses perigos ou ameaças vão desde condições meteorológicas adversas a obras rodoviárias mal planejadas, bem como danos intencionais decorrentes de conflitos nas relações de trabalho ou ações terroristas e outros tipos de falhas e atrasos que podem se desenvolver, causando consequências econômicas e sociais significativas.

Para caracterizar a ameaça de um evento de desastre em termos de probabilidade de ocorrência e das consequências, é utilizado o conceito de risco (FATURECHI & MILLERHOOKS, 2014). Os autores afirmam que o valor esperado do risco é essencialmente o produto das consequências de cada evento pela probabilidade de ocorrência e, ao final, somam-se todos os produtos no universo de eventos possíveis. Desta forma, para cada cenário de risco concebível, a avaliação pode ser formalizada como o seguinte "triplete": (1) descrição de cenário; (2) probabilidade e (3) consequências (medida de dano) (MATTSSON & JENELIUS, 2015).

Segundo Sanches (2008), o risco é a probabilidade da concretização desses perigos ou a possibilidade de um evento indesejável ocorrer. Assegura ainda que tais consequências indesejáveis podem degradar tanto a vida humana, quanto o ambiente ou os bens materiais e o sistema de transportes.

O risco está relacionado às consequências possíveis associadas às incertezas. O risco pode ser estimado e as incertezas ocorrem quando os tomadores de decisão não conseguem estimar os resultados de um evento ou sua probabilidade de ocorrência. Eles surgem das

incertezas e a gestão auxilia na sua redução, porém não elimina as incertezas. Não há um consenso sobre o quão objetiva ou subjetiva, formal ou informal deve ser a gestão de riscos.

De maneira geral, o “risco” corresponde à possibilidade de que um evento (esperado ou não esperado) venha a tornar-se realidade, ou seja, se pode vir a ocorrer existe um risco. O evento, portanto, caracteriza-se por sua magnitude (dimensão e dispersão), frequência e duração (ALWANG *et al.*, 2001). É, portanto, mensurável e permite uma visão prospectiva.

Saliente-se, então, que a vulnerabilidade tem relação direta com o risco. Para Alves (2009), a noção de vulnerabilidade é definida a partir de três elementos: exposição ao risco, incapacidade de reação e dificuldade de adaptação diante da materialização do risco. O conceito de “vulnerabilidade” nem sempre é percebido de forma clara, diferentemente das definições de “risco” e de “perigo”, que são imediatamente identificadas. A noção de “risco” está frequentemente associada aos conceitos de “perigo”, “instabilidade”, “vulnerabilidade”, atingindo a sociedade em diferentes escalas, ou seja, localmente e globalmente.

Por sua vez, o conceito de vulnerabilidade é socialmente construído, pois um evento só se transforma em desastre quando atinge uma população com reduzida capacidade de resistência. A vulnerabilidade engloba aspectos culturais, políticos e econômicos de um lugar no enfrentamento do perigo, fato que se reflete na resiliência, que pode ser entendida como a capacidade para se recuperar dos danos. Desta forma, fenômenos físicos de igual magnitude podem ou não se constituir em desastre ou, em outros casos, a extensão da catástrofe pode ser bastante distinta em diferentes sociedades expostas a fenômenos físicos similares. (NUNES, 2009b; ZAMPARONI *et al.*, 2012).

Para Erath (2011), o termo vulnerabilidade para redes de transportes é usado para descrever a queda de acessibilidade para comunidades e regiões. A queda de acessibilidade tem como causa uma falha em uma determinada rota. Esse autor entende que a vulnerabilidade é a consequência dessa falha que prejudicou a capacidade da rota. As interrupções na movimentação de cargas ocorrem por diversos danos, tais como: os receptores não receberão seus bens no tempo, as transportadoras precisam encontrar rotas alternativas para transportar as mercadorias que são impedidas pela interrupção, e os fornecedores precisam se ajustar na cadeia de suprimentos para dar conta da ruptura. Por essas razões, é necessária uma redundância adequada na rede de transporte de mercadorias para evitar perdas significativas de serviço em caso de interrupção. Essa redundância

possibilita situações alternativas para reestabelecer conexões, após uma interrupção ou falha. A existência de redundância amplia a resiliência.

Desta forma, a importância de um sistema de transportes robusto e confiável gera o desenvolvimento de pesquisas com objetivo de compreender os mecanismos e as inter-relações que criam a sua vulnerabilidade, bem como formas de o tornar resiliente para mitigar problemas futuros (MATTSSON & JENELIUS, 2015).

Conforme a Tabela 7, existem diferentes tipos de ameaças, tais como: ameaças internas e externas. As ameaças internas podem ter origem em erros e acidentes causados por funcionários ou usuários, falhas técnicas, componentes que quebram, construções defeituosas, sobrecarga, entre outras. Elas também podem ser intencionais, como conflitos no mercado de trabalho. As ameaças externas podem estar relacionadas a fenômenos naturais, incluindo vários graus de clima adverso e desastres naturais: chuvas fortes, nevascas, tempestades, furacões, tornados, inundações, incêndios florestais, deslizamentos de terra, tsunamis, erupções vulcânicas, terremotos, entre outras. Uma ameaça específica a longo prazo entre a interna e a externa é o aquecimento global, que é parcialmente uma consequência de atividades humanas no setor de transporte (KOETSE & RIETVELD, 2009; NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2006). As ameaças externas também incluem ações antagônicas que vão desde brincadeiras, sabotagem, ações terroristas até atos de guerra (BELL, 2000; BELL *et al.*, 2008; CHEN *et al.*, 2007).

**Tabela 7: Ameaças aplicáveis a sistemas de transportes**

Dimensões	Ameaças	Artigos
	Condições meteorológicas	Parkouhi & Ghadikolaei (2017), Calatayud <i>et al.</i> (2017)
	Catástrofes	Rajesh & Ravi (2015), Bueno-Solano & Cedillo-Campos (2014), Marufuzzaman <i>et al.</i> (2014), Gedik <i>et al.</i> (2014), Calatayud <i>et al.</i> (2017)
	Fortes chuvas	Mattsson & Jenelius (2015)
	Nevascas	Mattsson & Jenelius (2015)
	Trovoadas	Mattsson & Jenelius (2015), Yang & Xu (2015)
	Furacões	Mattsson & Jenelius (2015), Marufuzzaman <i>et al.</i> (2014), Yang & Xu (2015), Sadghiani <i>et al.</i> (2015)

<b>Mudanças Climáticas e Desastres Naturais</b>	<b>Ameaças Externas</b>	Tornados	Mattsson & Jenelius (2015), Yang & Xu (2015)
		Inundações	Mattsson & Jenelius (2015), Parajuli <i>et al.</i> (2017), Yang & Xu (2015), Sadghiani <i>et al.</i> (2015), Gedik <i>et al.</i> (2014)
		Desabamentos	Mattsson & Jenelius (2015)
		Tsunamis	Mattsson & Jenelius (2015)
		Erupções vulcânicas	Mattsson & Jenelius (2015), Parajuli <i>et al.</i> (2017)
		Terremotos	Mattsson & Jenelius (2015), Sadghiani <i>et al.</i> (2015)
		Aquecimento global	Mattsson & Jenelius (2015), Stamos <i>et al.</i> (2015)
		Tempestades	Marufuzzaman <i>et al.</i> (2014), Yang & Xu (2015)
		Secas	Yang & Xu (2015)
		Limitação de estradas	Parkouhi & Ghadikolaei (2017)
		Tanques de armazenamento limitados	Parkouhi & Ghadikolaei (2017)
		Falhas de energia	Rajesh & Ravi (2015)
		Curto-circuitos	Rajesh & Ravi (2015)
		Erros e acidentes causados por pessoas	Mattsson & Jenelius (2015)
		Falhas técnicas	Mattsson & Jenelius (2015)
		Construções defeituosas	Mattsson & Jenelius (2015)
		Sobrecarga	Mattsson & Jenelius (2015)
		Falta de peças	Parajuli <i>et al.</i> (2017)
		Avarias	Sadghiani <i>et al.</i> (2015)
		Queda de energia	Sadghiani <i>et al.</i> (2015)
		Custos incertos	Sadghiani <i>et al.</i> (2015)
			Gedik <i>et al.</i> (2014)

<b>Problemas - Sistemas de Transportes</b>	<b>Ameaças Internas</b>	Problemas técnicos	
		Conflitos trabalhistas	Calatayud <i>et al.</i> (2017)
		falhas na infraestrutura	Calatayud <i>et al.</i> (2017)
		Falta de rotas alternativas	Branco & Caixeta-Filho (2011), Dubke & Pizzolato (2011)
		Frota rodoviária envelhecida	Branco & Caixeta-Filho (2011), Dubke & Pizzolato (2011)
		Rodovias mal pavimentadas	Branco & Caixeta-Filho (2011), Dubke & Pizzolato (2011)
		Elevado custo das tarifas portuárias	IMEA (2016)
		Demanda superior à capacidade instalada dos terminais e armazéns	IMEA (2016)
		Incêndios	Mattsson & Jenelius (2015)
		Falta de investimentos na ampliação de instalações portuárias	IMEA (2016)
<b>Outros</b>		Ataques terroristas	Mattsson & Jenelius (2015), Parajuli <i>et al.</i> (2017), Sadghiani <i>et al.</i> (2015), Gedik <i>et al.</i> (2014)
		Produtos contaminados	Madadi <i>et al.</i> (2012)
		Derramamento de óleo	Marufuzzaman <i>et al.</i> (2014)
		Infestações de pragas	Yang & Xu (2015)
		Demanda incerta do cliente	Sadghiani <i>et al.</i> (2015)
		Ataques terroristas	Calatayud <i>et al.</i> (2017)
		Barreiras regulatórias	Calatayud <i>et al.</i> (2017)
		Mudanças nas estratégias das companhias	Calatayud <i>et al.</i> (2017)

**Fonte:** Elaboração própria

A seguir, alguns exemplos de aplicação das ameaças indicadas na literatura são apresentados.

Os riscos de desastres e mudanças climáticas são altamente incertos (IPCC, 2012). Vários desses desastres ocorreram recentemente, afetando severamente a rede de transporte de mercadorias. O terremoto de 1994 na falha de Hayward em San Francisco, Califórnia, causou mais de 1.600 fechamentos de estradas e danificou a maioria das pontes de pedágio e das principais rodovias. O colapso da ponte I-35W em Minneapolis, Minnesota, afetou cerca de 140.000 viagens diárias de veículos e o custo diário de redirecionamento foi de US\$ 400.000 para os usuários afetados. As inundações do rio Mississippi em 2011 afetaram uma importante rota de carga, I-40, em Arkansas. O furacão Sandy, que atingiu a região de Nova York e Nova Jersey em 2012, causou bilhões de dólares em danos e inundou severamente ruas e túneis ao longo da costa leste. Por causa da greve trabalhista no Porto de Long Beach, Califórnia, em 2012, o movimento de US\$ 650 milhões em bens foi interrompido a cada dia.

Em relação as ameaças internas, um exemplo que se destaca no Brasil é a precariedade da malha rodoviária federal. Estudos do GEIPOT indicam aumentos de custos operacionais para o deslocamento de carga e de passageiros de quase 40%, aumentos de até 50% no número de acidentes, acréscimo de até 60% no consumo de combustíveis e de até 100% de aumento de tempo de viagem. Os estudos foram realizados em trechos em estado precário de conservação ou com elevados níveis de congestionamento, os quais correspondem a cerca de 35% da malha rodoviária federal. Os dados obtidos foram comparados com outros coletados em trechos que apresentam condições normais de tráfego (REVISTA CNT, 2001).

#### **4.4. Ameaças do sistema de transporte de Mato Grosso**

Após o levantamento geral das ameaças, foi realizada uma classificação das ameaças que podem causar a ruptura no sistema de transportes e causar a incerteza da demanda no Mato Grosso. Para tal, foram detalhados exemplos dessas ameaças.

Exemplo das ameaças que podem causar Ruptura no Sistemas de Transporte e Incerteza na demanda no Processo de escolha modal do estado de Mato Grosso.

#### **4.4.1. Mudanças climáticas e desastres naturais**

*- Inundações, desabamentos, tempestades, fortes chuvas*

Em março de 2014, segundo Só Notícias (2020), Notícias Agrícolas (2020), Globo (2014), a chuva causou um caos nas estradas de Mato Grosso. A principal saída dos grãos é a BR-163. No trecho entre Sorriso e Lucas do Rio Verde, maiores produtores de soja do estado, uma barragem rompeu e inundou a estrada. Apenas uma pista ficou em operação por toda a semana. Em vários outros trechos, surgiram mais buracos e mais acidentes. Uma carreta tombada provocou uma fila de caminhões.

O porto flutuante de Porto Velho, em Rondônia, que faz o escoamento de soja do norte de Mato Grosso foi fechado e complicou ainda mais a situação. O nível do Rio Madeira subiu muito e inundou a ponte que dava acesso ao terminal. O problema foi resolvido, mas, por dois dias, várias cargas de Mato Grosso ficaram paradas.

No estado de Mato Grosso, em janeiro de 2020, a situação ficou delicada com as fortes chuvas e alagamentos que ocorreram na região danificando pontes, interditando estradas e interrompendo o tráfego de veículos na região.

Outra situação, que ocorreu em março de 2020, bloqueou a BR-163 desde o Mato Grosso (MT) até Miritituba (PA), ficando sem saída para escoar pelo Norte. Esse bloqueio foi devido a fortes chuvas em que mais de 3 mil caminhões ficaram parados.

*- Aquecimento Global*

Em janeiro de 2017, segundo o Governo de Mato Grosso (2017) o estado de Mato Grosso aprovou o projeto que instituiu a política de mudanças climáticas que sancionou a Lei nº 582. Segundo Maurício Philipp, coordenador de Mudanças Climáticas da Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMA), Essa lei irá respaldar a implantação de medidas de mitigação de gases de efeito estufa, bem como de adaptação, visando a aumentar a resiliência dos sistemas produtivos e de comunidades mais vulneráveis frente aos impactos da mudança do clima.

Os planos setoriais de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas são aplicáveis às atividades de geração e distribuição de energia elétrica, transporte público urbano e nos sistemas modais de transporte interestadual de cargas e passageiros, indústria da transformação e de bens de consumo duráveis, indústrias químicas fina e de base, indústria

de papel e celulose, mineração, indústria da construção civil, serviços de saúde, agropecuária, recursos hídricos setor público, biodiversidade, florestas e alteração do uso do solo, setor doméstico e resíduos, entre outros.

*- Seca*

Em março de 2015, segundo G1 (2015) a estiagem causou prejuízo estimado de pelo menos R\$ 57 milhões ao setor do agronegócio por causa da impossibilidade de transportar grãos pela hidrovia Tietê-Paraná. A Hidrovia ficou bloqueada desde maio de 2014 e voltou a funcionar em janeiro de 2015 e todo o escoamento de soja e milho foi realizado por caminhão. O trajeto que passou a ser feito de caminhão abrange o trecho da hidrovia entre São Simão (GO) até Pederneiras (SP) e, em seguida, o percurso por ferrovia de Pederneiras até o porto de Santos (SP) no total de 1210 km.

#### **4.4.2. Segurança**

*- Roubo de Carga*

Segundo G1 (2020), Empresas de Transporte de Cargas de Mato Grosso (Sindmat) juntamente com 20 empresários do setor se reuniram com o delegado geral da Polícia Judiciária Civil, Mário Dermeval Aravechia de Resende, para discutir com a segurança pública ações de enfrentamento ao roubo de cargas de transportadoras no estado de Mato Grosso. Em janeiro de 2019, o presidente do Sindmat, Eleus Vieira de Amorim, explicou ao delegado que desde 2017 as invasões a transportadoras e roubos de carga têm aumentado em todo o País e que a situação hoje é crítica no estado de Mato Grosso.

#### **4.4.3. Pessoas**

*- Greve, Conflitos Trabalhistas e Barreira reulatória*

Em 2015, segundo Notícias Agrícolas (2015) empresários do setor de transportes e caminhoneiros protestaram contra os preços dos combustíveis e margens apertadas no frete, interrompendo o fluxo de caminhões em dois pontos da BR-163, principal rota de escoamento de grãos de Mato Grosso. Os manifestantes reclamavam do preço do diesel, que sofreu reajuste, apertando as margens no frete. Um dos pedidos era que o governo estadual reduza a alíquota de ICMS cobrado no diesel e forçasse empresas que contratam frete a seguir uma tabela de preços mínimos que cubra os custos.

Os reflexos da greve dos caminhoneiros é a prova de como a circulação de bens e pessoas no país ainda é extremamente dependente do transporte rodoviário. Em decorrência da greve dos caminhoneiros, o transporte de grãos no país apresentou contratempos, em termos de atraso, mas a paralisação, na verdade, foi trágica para o agronegócio como um todo. A referida greve dos caminhoneiros “terminou” com o Governo apresentando uma Medida Provisória (MP) criando a Política de Preços Mínimos do Transporte Rodoviário de Cargas, com o intuito de promover condições razoáveis à contratação por fretes no território nacional.

*- Erros e acidentes causados por pessoas*

Em 2018, segundo CNT (2019) foram registrados 18.239 acidentes nas rodovias federais brasileiras com o envolvimento de pelo menos um caminhão. Ainda que trafegue conjuntamente com outros tipos de veículos (automóveis, motos, entre outros) nas rodovias, os motoristas de caminhões estão expostos a um risco maior de se envolverem em um acidente. Esse aumento do risco pode estar diretamente relacionado, dentre outros, aos aspectos mencionados a seguir:

- Grande distância percorrida devido à grande extensão territorial brasileira. A necessidade de ficar dias à frente da condução leva ao desgaste físico e, conseqüentemente, à perda de reflexo.

- Cumprimento de prazos além da distância, pois existe a cobrança pelo cumprimento de prazos percorrendo velocidade acima da permitida;
- Falta de descanso ocasionando a perda de reflexo e, conseqüentemente, o comprometimento da segurança do motorista e de todos aqueles que cruzam seu caminho;
- Excesso de confiança de motoristas mais experientes que tendem a se manter menos atentos ao volante;
- Excesso de carga no veículo tendo maior risco de se envolver em um acidente, o que dificulta a frenagem e a mudança brusca de direção;
- Manutenção do veículo, a qual deve estar em dia, pois, sem uma correta manutenção, imprevistos podem ocorrer como, por exemplo, a falha na

frenagem e a perda de direção, que podem colocar em risco não apenas o condutor, mas também os passageiros, outros motoristas e pedestres;

- O modo de condução é também um fator que pode estar associado ao aumento de risco durante a condução, como, por exemplo, ultrapassagens em locais proibidos, condução em alta velocidade, que aumentam o risco de ocorrência de um acidente;
- O aumento do risco de se envolver em um acidente pode estar associado ainda às condições precárias da infraestrutura.

#### **4.4.4. Transportes, dinheiro, infraestrutura**

A navegação no Rio Madeira enfrenta problemas de infraestrutura. São acessos aos terminais cheios de buracos, longas filas de caminhões, falta de segurança e de infraestrutura, falta de sinalização, balizamento ou dragagens, margeando os portos. Somada a isso está a falta de perspectiva para novos investimentos na região (CNT, 2019).

Um outro problema é a insuficiente oferta da malha ferroviária, fator que já foi apontado pelo estudo da CNT Entraves Logísticos ao escoamento de Soja e Milho. Segundo o levantamento, a pouca disponibilidade de ferrovias é considerada problema grave ou muito grave por 83,3% dos embarcadores. O Brasil tem 3,4 quilômetros de infraestrutura ferroviária para cada 1.000 km<sup>2</sup> de área. Os Estados Unidos, principal concorrente do Brasil, têm 22,9 quilômetros e a Argentina, que também disputa mercados com o País, tem 13,3 quilômetros. Há, também, as más condições das rodovias, que deixam o transporte somente da soja e do milho R\$ 3,8 bilhões mais caro, conforme o mesmo levantamento da Confederação nacional do transporte (CNT, 2017).

Outros fatores que também afetam a infraestrutura da região Centro-oeste são: malha insuficiente para atender adequadamente a todas as regiões produtoras; pouca manutenção da malha existente; opção pelo modo rodoviário de transporte, que é pouco indicado para as grandes distâncias dos centros de consumo no Brasil ou dos portos e para produtos de baixo valor agregado e em grande quantidade, como o agropecuário; pouca utilização da intermodalidade de transporte; baixa eficiência dos portos brasileiros; e baixa disponibilidade de armazéns nas propriedades rurais da região. Os gargalos dos portos brasileiros também apresentam parcela de contribuição para reduzir a competitividade da soja brasileira. Os

fatores portuários que mais prejudicam a competitividade das exportações brasileiras são: elevado custo das tarifas portuárias; demanda superior à capacidade instalada dos terminais e armazéns; falta de investimentos na ampliação de instalações portuárias, ocasionando filas de caminhões e navios no período da safra; e a limitação de profundidade, impedindo a atracação de navios de maior porte em alguns portos (Castro, 2017).

*- Variação no preço dos combustíveis e variação no preço do frete*

Os sucessivos aumentos no preço do óleo diesel têm sido repassados no preço de transporte rodoviário, considerando as médias praticadas nos últimos anos. De 2010 a 2017, o custo do transporte aumentou 39,8%, de acordo com a EsalqLog, da USP (Universidade de São Paulo). No mesmo período, o preço do frete praticado no mercado aumentou 44%. A parcela do combustível representa cerca de 38% do custo do transporte rodoviário. Já a mão de obra corresponde a 14,5%, ainda segundo a EsalqLog. A instituição identificou impacto do diesel no custo de transporte em seis rotas de exportação de açúcar e grãos (BRASIL AGRO, 2018).

#### **4.4. Métodos para mensurar a resiliência e relacionar com a eficiência**

Na literatura recente, a aplicação dos métodos para medir a resiliência pode ser observada nos trabalhos de vários autores, conforme mostrada na Tabela 8. Além disso, verificou-se se algum trabalho analisou também a eficiência.

O método adotado para o levantamento de literatura científica considerou artigos relacionados ao sistema de transportes de cargas que consideraram em seus estudos os transportes por rodovias, ferrovias e hidrovias. Além disto, buscaram-se artigos que tinham como foco na medição da resiliência. Diante disto, os critérios de seleção escolhidos para essa revisão são detalhados a seguir:

Para tal, foi utilizada uma combinação de palavras-chave na busca por artigos científicos, que foram: “resilience” and “Freight Transport”. Nesta pesquisa, foi dada a preferência por artigos contemporâneos (atuais), cujo período de publicação foi entre 2010 e 2021.

As informações extraídas dos artigos foram; o(s) método(s) considerado(s); os indicadores, e as medidas de eficiência.

**Tabela 8:**Métodos de medição da resiliência dos sistemas de transportes

<b>Autor</b>	<b>Título</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Método</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Medidas de eficiência</b>
SNELDER, M.; VAN ZUYLEN, H. J.; IMMERS, L. H. (2012).	A framework for robustness analysis of road networks for short term variations in supply	Como a robustez é definida? Contra quais distúrbios a rede devem ser robusta? Quais fatores determinam a robustez de uma rede rodoviária? Qual é a relação entre robustez, tempos de viagem e confiabilidade do tempo de viagem? Quais indicadores podem ser usados para quantificar a robustez? Como esses indicadores podem ser calculados?	Contexto da Robustez, a definição da Robustez, Indicadores de robustez, avaliação da robustez	Perdas de tempo de viagem causadas por incidentes	
Xu, Z., Ramirez-Marquez, J. E., Liu, Y., & Xiahou, T. (2020)	A new resilience-based component importance measure for multi-state networks	Este artigo propõe uma nova medida de classificação da importância do componente com base na resiliência para redes multiestaduais a partir da perspectiva de um processo de restauração pós-desastre.	Considerando a natureza estocástica dos eventos disruptivos, a medida de importância de cada componente é avaliada encontrando os caminhos mínimos de recuperação para vários eventos disruptivos, e pode ser representada por uma distribuição de probabilidade	Quantifica o impacto da melhoria da capacidade e do tempo de recuperação de um componente na resiliência da rede	
Nogal, M., & Honfi, D. (2019)	Assessment of road traffic resilience assuming stochastic user behaviour	Apresenta uma nova abordagem para avaliar a resiliência de uma rede de tráfego quando sofre um evento disruptivo, considerando o comportamento estocástico dos usuários, onde suas decisões serão influenciadas por sua percepção das condições de tráfego e não pelas condições reais.	o modelo apresentado neste artigo permite a representação da resposta humana, uma vez que a subjetividade dos usuários foi introduzida. Três parâmetros estão relacionados à modelagem da resposta do usuário, ou seja, a capacidade de adaptação do usuário, sua disposição para se dispersar e a importância de ter caminhos alternativos na escolha de uma determinada rota.	Preparação, adaptabilidade e capacidade de recuperação	
Lorenzo Masiero e Rico Maggi (2012)	Estimation of indirect cost and evaluation of protective measures for infrastructure vulnerability: A case study on the transalpine	O objetivo deste artigo é estimar os custos indiretos causados por um fechamento de duas semanas de um importante corredor rodoviário transalpino e implementar uma ferramenta de análise de custo-benefício que permite a avaliação das medidas que garantem a proteção total ao longo do corredor	O procedimento descrito neste artigo propõe uma metodologia teve como objetivo identificar e quantificar a vulnerabilidade econômica associada a uma infraestrutura de transporte rodoviário e, avaliar a eficiência econômica e social da redução da vulnerabilidade pela	Custo, prazo e pontualidade	X

	transport corridor		consideração das medidas de proteção		
Stamos, I, <i>et al.</i> (2015)	Impact assessment of extreme weather events on transport networks: A data-driven approach	O presente artigo apresenta um método baseado em dados para avaliar a resiliência da rede europeia de transporte de passageiros durante eventos meteorológicos extremos	O método proposto consiste em três etapas relativas à estimativa de probabilidade de um evento climático extremo ocorrendo dentro de uma rede de transporte, a avaliação de seus impactos e a mudança do fluxo de passageiros entre os vários modos de transporte.	Custo, tempo de viagem	X
Woodburn, A. (2019)	Rail network resilience and operational responsiveness during unplanned disruption: A rail freight case study	Este artigo enfoca a resiliência das operações de frete ferroviário quando afetadas por eventos climáticos extremos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar os impactos do fechamento da linha nos níveis e capacidade do tráfego ferroviário de mercadorias</li> <li>• Avaliar as implicações mais amplas da cadeia de abastecimento do fechamento de linha</li> <li>• Fazer recomendações para melhorar a resiliência dos trilhos, operações de frete, com base nas evidências do estudo de caso</li> </ul>	Rotas alternativas e horários associados e pontualidade do trem, tempo de viagem	X
Dui, H., Zheng, X., & Wu, S. (2021)	Resilience analysis of maritime transportation systems based on importance measures	Este artigo propõe um novo método para otimizar a gestão da resiliência residual de portos e rotas no sistema de transporte marítimo e propõe um modelo de resiliência ótimo	Em seguida, o estado do sistema de transporte marítimo (STM) pós-desastre é analisado e um conceito de resiliência residual é proposto. A seção 3 propõe algumas medidas de importância da resiliência residual para o STM pós-desastre para avaliar a prioridade de recuperação dos portos interrompidos e rotas com resiliência residual mínima.	Tempo de recuperação	
Zheng, Y., & Kim, A. M. (2017)	Rethinking business-as-usual: Mackenzie River freight transport in the context of	Este documento apresenta um modelo para fornecer orientação às empresas de transporte marítimo, clientes e governo sobre como os padrões de transporte podem precisar evoluir para se adaptar	Os volumes de carga futuros são projetados usando a análise de séries temporais. Em seguida, a otimização do custo de logística é usada para incorporar as mudanças previstas no perfil do fluxo de água no planejamento	Volumes de carga	X

	climate change impacts in northern Canada	com eficácia às mudanças nas condições climáticas.	da programação de entrega futura das empresas de transporte.		
He, Zhidong, et al (2021)	Robustness assessment of multimodal freight transport networks	Este artigo propõe uma abordagem sobre modelagem de rede e avaliação de robustez para redes de transporte de carga multimodal, onde os nós representam cruzamentos, terminais, e os links representam vias.	conceitos de interconexão e interdependência na modelagem de redes multimodais, que permitem avaliar o impacto devido a interrupções dos terminais e dos cruzamentos, avaliação da rede de transporte sistematicamente considerando as interrupções / degradação da infraestrutura sob diferentes comportamentos de tráfego e estrutura de avaliação desenvolve o método de identificação aproximada de nós críticos por propriedades topológicas nodais.	Tempo de viagem e custo de viagem	X

Conforme observado na Tabela 8, foram levantadas informações sobre artigos que mediram a resiliência em sistemas de transportes. Além disso, foram detalhados os métodos para realizar essa medição, levantados os indicadores e identificados quais deles estão relacionados com a eficiência. Ao analisar estes artigos, verificou-se que todos mediram a resiliência abordando diferentes ameaças que impactaram uma rota e/ou uma rede de transporte, mas apenas 5 artigos mediram indicadores de eficiência. Os indicadores de eficiência citados são: custo, prazo, pontualidade, tempo de viagem, volumes de carga que estão todos relacionados com a dimensão econômica.

Comparando esses métodos com o método que será proposto nessa tese, não há nenhum artigo que mensurou a eficiência nas dimensões econômicas, ambientais e sociais das rotas que utilizam a hidrovia Tapajós-Teles Pires em toda sua extensão. Além disso, nenhum artigo mensurou as três dimensões na eficiência das rotas de transportes e na resiliência do sistema de transporte no estado do Mato Grosso caso existisse algumas ameaças que causasse a interrupção no modo de transporte ferroviário e a incerteza da demanda na hidrovia Tapajós-Teles Pires. Essas dimensões foram analisadas em diferentes cenários de alternativas de transportes e em diferentes cenários de demanda na hidrovia.

Essas comparações são importantes para evidenciar o ineditismo da contribuição do presente trabalho.

#### 4.5. Considerações finais

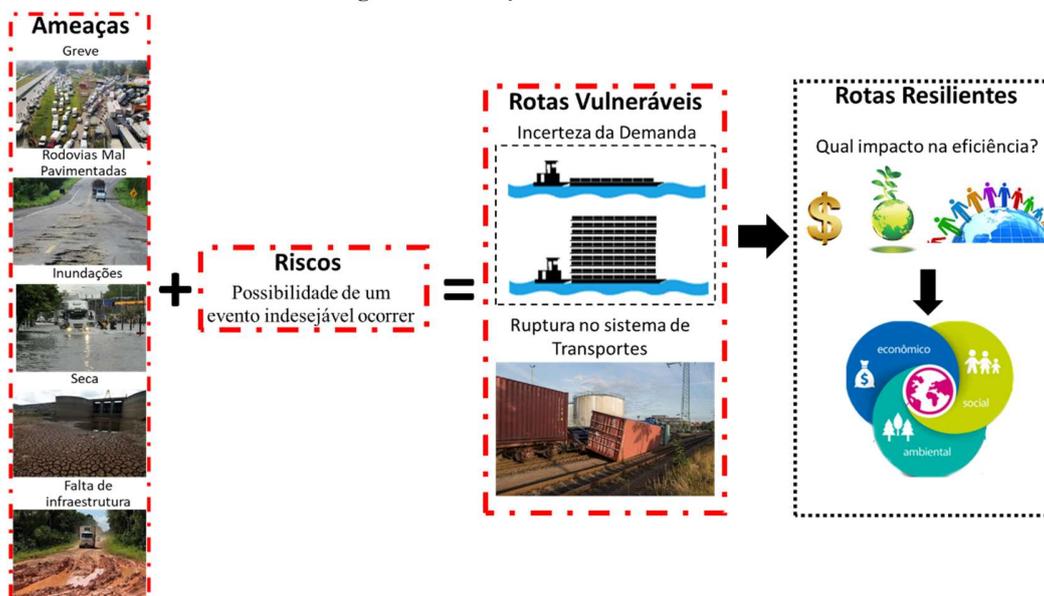
Este capítulo buscou apresentar e identificar como os diferentes autores abordam os conceitos de resiliência. Além disso, foi possível observar que não existe um único conceito sobre a resiliência, mas uma variação de definições relacionadas a esse conceito. Diante disto, foi realizado também o levantamento dos conceitos de ameaças, riscos e vulnerabilidade e as suas respectivas relações.

O Capítulo também apresentou um levantamento das ameaças que podem interromper o sistema de transporte de Mato Grosso e ocasionar a incerteza da demanda.

Como se pode observar na Figura 19, foram identificados diferentes tipos de ameaças ao sistema de transportes com a possibilidade desses eventos se tornarem realidade, existindo um risco e deixando o sistema de transporte vulnerável. Essa vulnerabilidade pode prejudicar a capacidade da rota e do sistema de transporte, impactando na eficiência econômica, ambiental e social.

Então, se o sistema de transporte fosse interrompido, qual seria o impacto na eficiência econômica, ambiental e social em um determinado modo de transporte?

Figura 18: Relação entre os conceitos



Fonte: Elaboração própria

## 5. PROPOSTA DO MÉTODO

Este Capítulo tem o objetivo de estruturar um método que permita mensurar e relacionar a influência da hidrovia na eficiência e na resiliência das rotas e do sistema de transporte de *commodities*. Essa mensuração tem o objetivo de analisar os indicadores econômicos, ambientais e sociais de uma região de estudo em diferentes cenários. Buscou-se considerar os conceitos de eficiência e sustentabilidade, como modo de associar os aspectos econômico, ambiental e social. Além disso, os conceitos de resiliência foram importantes para analisar os diferentes cenários caso existisse algumas ameaças e causasse a interrupção no modo de transporte ferroviário e a incerteza da demanda na hidrovia de uma região de estudo.

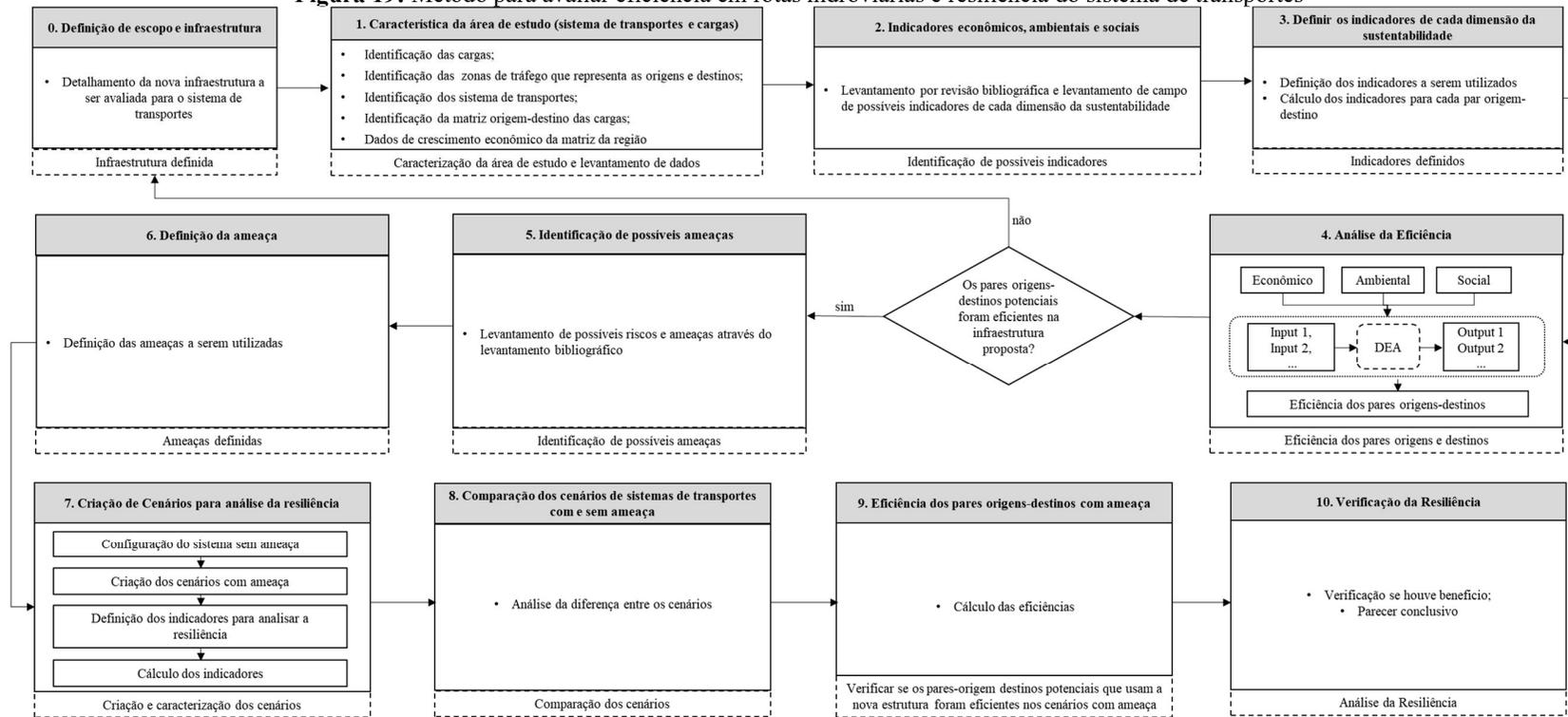
Neste contexto, este Capítulo apresenta um procedimento para mensuração e relação da eficiência e da resiliência, composta por dez passos, conforme Figura 10. Entre os referidos passos, do passo 0 até o passo 3 são responsáveis pela caracterização da área de estudo, pelo conceito de eficiência e indicadores de desempenho e pela definição dos indicadores relacionados com a sustentabilidade. No passo 4 é realizada a primeira análise da eficiência, para verificar se os pares origem-destino potenciais foram eficientes. Já nos passos 5, 6 e 7 são responsáveis pelo conceito de resiliência, pela definição das ameaças e pela criação de cenários para análise da resiliência. Logo em seguida, os passos 8, 9 e 10 envolve análise da eficiência e da resiliência em diferentes cenários.

A estrutura proposta cumpre o propósito de praticidade e aplicabilidade de forma sistemática das rotas e sistemas de transportes de cargas. Permite ainda a identificação de semelhanças e diferenças entre os resultados obtidos a partir de cada impacto no transporte e uma análise, portanto, em vários cenários.

A Figura 20 apresenta uma síntese do método proposto e desenvolvido pelo autor deste trabalho, composta de dez passos

Nas próximas seções deste capítulo, cada passo do método é detalhado para auxiliar sua compreensão e posterior aplicação.

**Figura 19: Método para avaliar eficiência em rotas hidroviárias e resiliência do sistema de transportes**



Fonte: Elaboração própria

### **5.1. Passo 0 - Definição de escopo e de infraestrutura**

No passo zero é apresentada o par origem-destino potencial a ser avaliado para o sistema de transportes. Será considerada a sua importância para a região e seus respectivos benefícios em relação aos aspectos econômicos, ambientais e sociais. Esse estudo visa a auxiliar na análise das dimensões econômicas, ambientais e sociais do desempenho das rotas potenciais e da resiliência em diferentes cenários dessa rota potencial.

### **5.2. Passo 1 - Característica da área de estudo (sistemas de transportes e cargas)**

No primeiro Passo identifica as origens, os destinos e os tipos de cargas que podem influenciar no método e as questões referentes à rede de transportes, incluindo os terminais e suas ligações, assim como as alternativas modais disponíveis e os respectivos fluxos de movimentação de carga. A previsão de fluxos inter-regionais de frete entre fornecedores e consumidores é essencial para o planejamento dos sistemas de transporte em nível estratégico. A matriz Origem-Destino (matriz O-D) apresenta a quantidade total de carga transportada de cada região de produção para cada região de consumo. Esse tipo de informação é necessário para a avaliação do custo total, emissões de gases de efeito estufa e consumo de energia de um sistema de transporte e é útil para identificar gargalos e determinar a configuração mais eficiente da rede de transporte (APAS, 1996; CRAINIC *et al.*, 1990; FRIESZ, *et al.*, 1983; GARRIDO & MAHMASSANI, 2000; BRANCO *et al.*, 2019). Cabe ressaltar que as alternativas podem ser formadas por apenas um modo ou por dois ou mais modos (intermodais).

### **5.3. Passo 2 - Indicadores econômicos, ambientais e sociais**

No segundo Passo do método refere-se ao levantamento do conceito de eficiência, do conceito de sustentabilidade, da caracterização do desempenho das diferenças dos modos de transportes e da identificação dos indicadores econômicos, ambientais e sociais. Para a aplicação desse Passo, recomenda-se a realização de pesquisa bibliográfica e documental para auxiliar na determinação de possíveis indicadores que serão considerados.

#### **5.4. Passo 3 - Definir os indicadores**

Neste item serão identificados e definidos os indicadores econômicos, ambientais e sociais que serão aplicados nesta tese e a fim de calcular cada par origem-destino. Para identificar esses indicadores, recomenda-se o levantamento dos trabalhos publicados em revistas científicas que aplicaram o método de Análise Envoltória de Dados (DEA), visando a analisar o desempenho das rotas de sistemas de transportes de cargas. Segundo Lins & Meza (2000), o Método DEA possibilita utilizar diversos tipos de dados reais de variáveis de *input* e *output* cujas unidades de medidas podem ser diferentes entre si, desde que tais variáveis sejam iguais para todas as unidades tomadoras de decisão (DMU – Decision Making Units) (COOPER *et al.*, 2006).

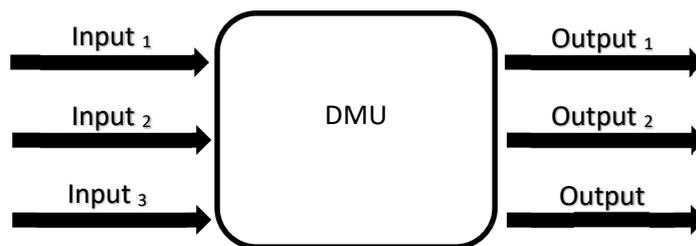
#### **5.5. Passo 4 - Análise da eficiência**

No Passo 4 será necessário realizar as medições da eficiência das rotas de transportes, identificar as rotas eficientes e verificar se os pares origens-destinos potenciais serão eficientes na infraestrutura proposta porque, no caso contrário, não é necessário avançar nas análises. Para realizar essas medições, recomenda-se utilizar o método DEA (Análise Envoltória de Dados)

##### **5.5.1. Modelo análise envoltória de dados (DEA)**

Segundo Charnes *et al.* (1978), a Análise Envoltória de Dados (DEA) é uma abordagem não paramétrica, baseada em programação matemática, cujo objetivo é medir o desempenho de unidades tomadoras de decisão (ou DMUs, de Decision Making Units) que são otimizadas individualmente, comparando os recursos utilizados (*inputs*) e as quantidades produzidas (*outputs*) conforme a Figura 21. Assim, o método compara as eficiências das DMUs, desde que os processos operacionais sejam similares, considerando as diferenças das quantidades dos *inputs* e *outputs* das DMUs. (LEAL JR & D'AGOSTO, 2012; SOUZA & WILHELM, 2009). Em geral, os modelos dispõem de formulações duais (envelope e multiplicadores), havendo duas orientações radiais possíveis: a *inputs*, que busca minimizar os recursos utilizados mantidos inalterados nos níveis de produção; e a *outputs*, que implica no aumento da produção sem alterar as quantidades de insumos utilizadas.

Figura 20: Representação de uma DMU



Uma DMU pode ser representada por um grupo empresarial, uma empresa individual ou uma unidade administrativa, do setor produtivo, de serviço ou até mesmo do setor público, podendo ou não visar ao lucro (KATHARAKI, 2010).

Conforme Cooper *et al.* (2006), as informações básicas de uma aplicação DEA são:

a) Decision Making Unit (DMU) ou unidade tomadora de decisão; trata-se da unidade produtiva que se deseja avaliar e comparar com outras unidades da mesma natureza, sendo esta responsável pela conversão de entradas em saídas;

b) *inputs* ou entradas são os insumos, como matéria-prima, equipamento, capital, horas de trabalho, energia e tempo, empregados pela DMU na geração de uma determinada produção;

c) *outputs* ou saídas são os produtos gerados pela DMU como bens ou serviços produzidos ou vendidos; uma DMU pode ter uma ou mais saídas;

d) modelo escolhido: DEA permite a escolha de vários modelos de cálculos segundo a sua adequação, como por exemplo, o CCR (Charnes-Cooper-Rhodes) e BCC (Banker-Charnes-Cooper), com orientação à entrada (ou *input*) ou à saída (*output*);

e) fronteira de eficiência: que é construída a partir dos melhores resultados apresentados pelo conjunto de DMUs. Para essas DMUs, é atribuído o valor máximo de eficiência (1, ou 100%);

f) eficiência relativa: refere-se ao valor de eficiência (ou ineficiência) das DMUs em relação à fronteira; e

g) pesos calculados: os melhores pesos para cada DMU de cada entrada e saída são atribuídos, visando a atingir maior eficiência possível.

O método DEA tem dois modelos clássicos; CCR (conhecido por CRS – Constant Return to Scale) e o BCC (conhecido por BCC – Variable Return Scale). O modelo CCR (sigla para Charnes, Cooper e Rhodes) opera com retornos constantes de escala, ou seja, a quantidade de *inputs* consumidos nas operações é proporcional à obtenção dos *outputs*.

Na forma gráfica, esse modelo apresenta uma superfície linear, não paramétrica, em que compreende os dados das variáveis das DMUs (MELLO *et al.*, 2005).

Por outro lado, o modelo BCC foi desenvolvido por Banker *et al.* (1984) a partir do modelo CCR. Esse modelo não considera a proporcionalidade entre as variáveis de *input* e *output*, inerente ao modelo CCR, a partir da substituição do axioma da proporcionalidade pelo axioma da convexidade (BERTOLOTO & MELLO, 2011; MELLO *et al.*, 2005).

Os modelos CCR e BCC apresentam a ótica dos multiplicadores e do envelope a ser apresentado ao longo desta seção. Além disto, o método DEA possibilita analisar o problema considerando duas orientações. Orientação a *output*: quando se deseja obter o máximo de produtos sem que se altere a quantidade de *inputs* utilizados. Orientação a *input*: quando se deseja minimizar os *inputs* sem que se altere a quantidade de *outputs* (BERTOLOTO & MELLO, 2011).

### 5.5.2. Modelo CCR

Segundo Biondi Neto (2001), a característica essencial do modelo CCR é a redução de múltiplos produtos e múltiplos insumos, de cada DMU, para um único produto e um único insumo. Para uma DMU, a razão entre esse produto e o insumo fornece uma medida de eficiência, que é denominada de função dos multiplicadores.

Essa função, que será maximizada, forma a função-objetivo para que a DMU observada (DMU O) seja avaliada. A eficiência técnica da DMU O será obtida por meio de um PPNL (Problema de Programação Não-Linear), utilizando a fórmula das Equações 1 a 4

$$Max h_0 = \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{j0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \quad \text{Equação 1}$$

$$s. t. \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{jk}} \leq 1 \quad k = 1, 2, 3, \dots, \quad \text{Equação 2}$$

$$u_j \geq 0, \forall j = 1, \dots, s, \quad \text{Equação 3}$$

$$v_i \geq 0, \forall i = 1, \dots, m, \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

- k: é a quantidade de DMUs
- i: é a quantidade de *inputs* de cada DMU
- j: é a quantidade de *outputs* de cada DMU
- h<sub>0</sub>: eficiência da DMU em análise
- u<sub>j</sub>: peso referente ao *output* j;
- v<sub>i</sub>: peso referente ao *input* i;
- y<sub>j0</sub>: é o valor do *output* j da DMU em análise;
- x<sub>i0</sub>: é o valor do *input* i da DMU em análise;

Ao analisar as equações 3 e 4, os pesos  $u_j$  e  $v_i$  têm o objetivo de maximizar a soma ponderada dos *outputs* em relação a soma ponderada dos *inputs*, sujeita à restrição de que, o resultado dessa divisão, seja menor ou igual a um, para todas as DMUs (LINS e MEZA, 2000). Logo, as eficiências variam de zero a um. Esses pesos são dados para cada DMU em análise e podem apresentar valores distintos entre si, conforme o valor dos *inputs* e dos *outputs* de cada DMU em particular.

A formulação matemática das Equações 1, 2, 3 e 4 é um problema de programação não-linear e a solução é tornar o denominador da Função Objetivo uma constante, ou seja, igualando ao valor um que transformará em dois problemas de programação linear, tais como: um que minimiza o consumo agregado, mantendo constante a produção agregada (orientação a *input*) e outro que mantém constante o consumo agregado e busca maximizar a produção agregada (orientação a *output*). Esse último é formulado pelas Equações 5 a 12 (LINS e MEZA, 2000);

$$\text{Min } h \quad \text{Equação 5}$$

$$s. t. h x_{i0} - \sum_{k=1}^n \lambda_k x_{ik} \geq 0, i = 1, \dots, r \quad \text{Equação 6}$$

$$y_{j0} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, j = 1, \dots, s \quad \text{Equação 7}$$

$$\lambda_k \geq 0, \forall k \quad \text{Equação 8}$$

$$Max h_0 = \sum_{j=1}^s u_j y_{j0} \quad \text{Equação 9}$$

$$s. t. v \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1 \quad \text{Equação 10}$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \leq 0 \quad k = 1, 2, 3, \dots, n \quad \text{Equação 11}$$

$$u_j, v_i \geq 0, \forall x, y \quad \text{Equação 12}$$

As formulações das equações acima são chamadas problemas dos multiplicadores, pois os vetores  $u_j$  e  $v_i$  expressam as taxas de substituição entre recursos e entre resultados que definem a fronteira de eficiência na qual a DMU é projetada. O conceito de desempenho que está sendo mensurado em cada um desses vetores torna-se mais claro quando se analisa seu respectivo problema dual, representado nas Equações 6 a 13.

$$Min h_0 = \sum_{i=1}^s v_i x_{i0} \quad \text{Equação 13}$$

$$s. t. \sum_{j=1}^m u_j y_{j0} = 1 \quad \text{Equação 14}$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \leq 0 \quad k = 1, \dots, n \quad \text{Equação 15}$$

$$u_j, v_i \geq 0, \forall x, y \quad \text{Equação 16}$$

$$Max h \quad \text{Equação 17}$$

$$s. t. -h y_{j0} + \sum_{k=1}^n \lambda_k y_{jk} \geq 0, j = 1, \dots, s \quad \text{Equação 18}$$

$$x_{i0} + \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, i = 1, \dots, r \quad \text{Equação 19}$$

$$\lambda_k \geq 0, \forall k \geq 0 \quad \text{Equação 20}$$

### 5.5.3. Modelo BCC

O modelo BCC, na sua modelagem primal, fornece, adicionalmente ao modelo CCR, os retornos à escala de cada DMU, sendo expressos pelos coeficientes  $u$  e  $v$ , os quais assumem diferentes interpretações dependendo da orientação do modelo (ALMEIDA, 2010). O quadro a seguir apresenta as funções objetivo do modelo BCC primal nas duas orientações possíveis.

$$\text{Min } h \quad \text{Equação 21}$$

$$\text{s. t. } hx_{i0} - \sum_{k=1}^n x_{ik}\lambda_k \geq 0, i = 1, \dots, r \quad \text{Equação 22}$$

$$-y_{j0} + \sum_{k=1}^n y_{jk}\lambda_k \geq 0, j = 1, \dots, s \quad \text{Equação 23}$$

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1 \quad \text{Equação 24}$$

$$\lambda_k \geq 0, \forall k \quad \text{Equação 25}$$

$$\text{Max } h_0 \quad \text{Equação 26}$$

$$\text{s. t. } x_{i0} - \sum_{k=1}^n x_{ik}\lambda_k \geq 0, \forall i \quad \text{Equação 27}$$

$$-h_0y_{j0} + \sum_{k=1}^n y_{jk}\lambda_k \geq 0, \forall j \quad \text{Equação 28}$$

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1 \quad \text{Equação 29}$$

$$\lambda_k \geq 0, \forall k = 1, \dots, n \quad \text{Equação 30}$$

Para a formulação dos modelos na perspectiva dual, é necessário acrescentar a variável  $\lambda_k$ , um escalar não negativo correspondente a DMU  $k$ . A cada restrição do modelo primal é associada uma variável  $\lambda_k$  para sua formulação dual. A principal contribuição do modelo dual é identificar qual DMU eficiente pode servir de *benchmark* para uma DMU ineficiente. A identificação é realizada pelos valores obtidos pelos coeficientes  $\lambda_k$  do modelo para a DMU em análise. Caso o valor de  $\lambda_k$  seja nulo, a DMU correspondente a essa variável não será um *benchmark* para a DMU em análise. Caso o valor seja maior que zero, a unidade corresponde será um *benchmark* para a DMU em análise, na proporção do valor do coeficiente (em porcentagem). Outra contribuição do modelo dual é possibilitar a determinação das metas para que as DMUs ineficientes sejam projetadas na fronteira eficiente (COOK & ZHU, 2007).

O modelo BCC, na perspectiva dual, adiciona uma restrição de convexidade representada por  $\sum \lambda = 1$ , inexistente no modelo CCR. O quadro a seguir sistematiza o modelo com as duas orientações e suas respectivas restrições.

$$\min h_0 = \sum_{j=1}^r x_{i0} v_j + v \quad \text{Equação 31}$$

$$s. t. \sum_{j=1}^s y_{j0} u_j = 1 \quad \text{Equação 32}$$

$$-\sum_{i=1}^r x_{ik} v_i + \sum_{j=1}^s y_{jk} u_j - v_* \leq 0, \forall k \quad \text{Equação 33}$$

$$v_i, u_j \geq 0, v \in \mathcal{R} \quad \text{Equação 34}$$

$$Max h_0 = \sum_{j=1}^s u_j y_{j0} + u \quad \text{Equação 35}$$

$$s. t. \sum_{i=1}^r x_{i0} v_i = 1 \quad \text{Equação 36}$$

$$- \sum_{j=1}^s y_{jk} u_j + \sum_{i=1}^r x_{ik} v_i + u_* \leq 0, \forall k \quad \text{Equação 37}$$

$$v_i, u_j \geq 0, u \in \mathfrak{R} \quad \text{Equação 38}$$

Uma das vantagens desse método é a possibilidade de calcular a eficiência relativa, sem prejuízo às DMUs de menor porte. Além disto, o método identifica as DMUs eficientes, sendo estas consideradas referências para às ineficientes. Das DMUs ineficientes, o modelo disponibiliza um conjunto de metas a ser atingido para que estas se tornem eficientes (GIACOMELLO & OLIVEIRA, 2014).

Em alguns casos, é possível que um conjunto elevado de DMU esteja situado na fronteira de eficiência, onde não é possível determinar a DMU mais eficiente da amostra. Diante disto, foi desenvolvida a fronteira invertida, que avalia as DMUs considerando as piores práticas gerenciais, cujo cálculo é realizado por meio do inverso do índice de eficiência padrão (melhores práticas gerenciais) (YAMADA *et al.*, 1994).

A combinação das eficiências padrão e invertida permite obter uma maior discriminação das DMUs, em que, além de se situar na fronteira de eficiência padrão, a DMU deve estar o mais distante possível da fronteira invertida, ou seja, deve-se obter o menor valor possível. A análise agregada das eficiências padrão e invertida resulta no índice de eficiência Composta, obtido por meio da Equação 39. A normalização da Composta, conhecido por índice de eficiência Composta Normalizada (Composta\*) é apresentado pela Equação 40 (BARBOSA, 2016).

$$Composta = \frac{Eficiência\ Padrão + (1 - Eficiência\ Invertida)}{2} \quad \text{Equação 39}$$

$$Composta * = \frac{Composta}{\max(composta)}$$

Equação 40

Após o entendimento do modelo da Análise Envoltória de Dados (DEA), será necessário escolher o tipo de modelo DEA mais adequado para este estudo. Para isso, será importante avaliar as seguintes características do modelo: se o retorno de escala é constante ou variável, sendo que o retorno constante pressupõe que uma variação de *inputs* resultará em uma variação proporcional nos *outputs*. Ou seja, tanto os *inputs* quanto *outputs* podem se aproximar da fronteira de eficiência de maneira equiproporcional. Além disso, a orientação será para maximização dos *outputs*, para minimização dos *inputs* ou para ambas simultaneamente (CAMIOTO *et al.*, 2014).

#### **5.6. Passo 5 - Identificação de possíveis ameaças**

No quinto Passo do processo é o levantamento dos conceitos de resiliência, os tipos de ameaças que podem atingir o sistema de transporte e a identificação das propriedades da resiliência. Para a realização desse Passo, recomenda-se o levantamento da pesquisa bibliográfica e documental para auxiliar na determinação de possíveis ameaças que serão consideradas.

#### **5.7. Passo 6 - Definição das ameaças**

Depois do levantamento da pesquisa bibliográfica das ameaças, devem ser identificadas, classificadas, e agrupadas as principais ameaças que podem causar incerteza da demanda e ruptura dos Sistema de Transporte do estado de Mato Grosso, objeto de estudo desta tese. Recomenda-se um levantamento das ameaças que já impactaram o sistema de transporte do estado do Mato Grosso.

#### **5.8. Passo 7 - Criação de cenários para análise da resiliência**

Nesse Passo serão realizadas quatro etapas. A primeira etapa vai detalhar a configuração do sistema de transportes sem ameaça, identificando a situação atual e a proposta das alternativas modais disponíveis. A segunda etapa será a criação de cenários com ameaça, elaborando cenários com as alternativas de transportes e elaborando cenários variando os fluxos de carga por centroide. A terceira etapa será a definição dos indicadores para analisar a resiliência que serão os mesmos utilizados para o cálculo da

eficiência. Por fim, a quarta etapa vai calcular os indicadores, por meio das medições dos cenários do fluxo de carga com cada cenário das alternativas de transportes, obtendo o impacto econômico, o impacto ambiental e o impacto social.

### **5.9. Passo 8 - Comparação dos cenários de sistemas de transportes com e sem ameaça**

A partir das informações encontradas no Passo 7, será realizada uma análise do desempenho das rotas dos cenários sem ameaça e dos cenários com ameaça das variáveis econômicas, ambientais e sociais e será analisada a resiliência das variáveis econômicas, ambientais e sociais do sistema de transporte dos cenários sem ameaça e com ameaça.

### **5.10. Passo 9 - Eficiência dos pares origens-destinos com ameaça**

No Passo 9 será realizado o cálculo da eficiência dos pares origens-destinos dos cenários com ameaça das variáveis econômicas, ambientais e sociais. Para realizar essas medições, recomenda-se utilizar o método DEA (Análise Envoltória de Dados)

### **5.11. Passo 10 - Verificação da resiliência**

Na medição da Resiliência, após encontrar os resultados das variáveis econômicas, ambientais e sociais dos cenários com ameaça, esses resultados serão comparados com o cenário atual e será possível identificar quais cenários conseguiram suportar, ser resilientes, com os diferentes cenários.

Já na medição da eficiência das rotas, será possível identificar a eficiência dos indicadores econômicos, ambientais e sociais das rotas de transportes nos diferentes cenários.

Com as informações das medidas de resiliência e das medidas de eficiência, será possível analisar como uma medida influencia a outra, apresentando as relações positivas e negativas desses cenários.

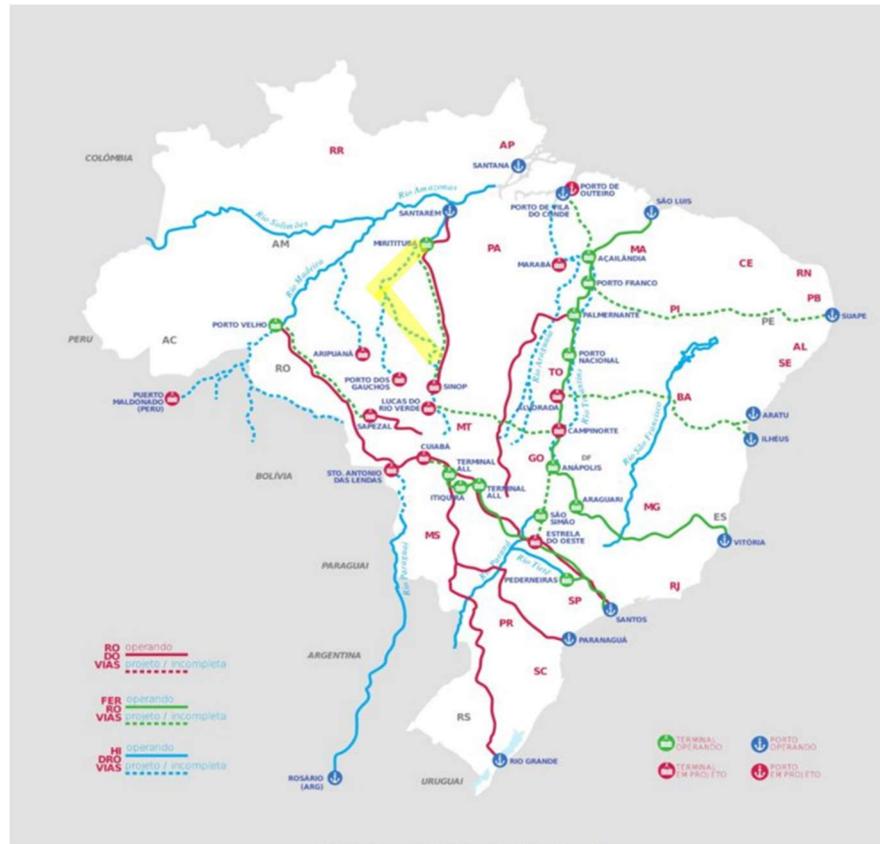
## **6. APLICAÇÃO DO MÉTODO**

### **6.1. Passo 0**

No Brasil, a hidrovia Tapajós-Teles Pires, objeto de estudo desta tese, é navegável por cerca de 280 km, representando apenas 13,33 % de sua extensão (PNIH,2013). Sua posição geográfica é estratégica, pois, sua extensão total é de 1576 km e conecta grandes centros de produção agrícola do estado de Mato Grosso aos portos do norte do País (PHE,

2013). Com isso, será analisado se a hidrovía Tapajós-Teles Pires, caso fosse navegável em toda sua extensão, tornaria as rotas de exportação de soja brasileira mais sustentáveis nas dimensões econômicas, ambientais e sociais. Na Figura 22 é possível identificar a hidrovía Tapajós-Teles Pires em amarelo.

**Figura 21:** As principais hidrovias do Brasil



Diante do exposto, será analisada uma possível influência da hidrovía Tapajós-Teles Pires no desempenho sustentável das 21 rotas de exportação de soja e milho brasileira a partir de vinte e três centroides de Mato Grosso.

Além disso, por meio do levantamento das ameaças no estado de Mato Grosso no item 4.4, será analisado também o monitoramento da eficiência sustentável do sistema de transporte do estado de Mato Grosso caso ocorresse uma ruptura no transporte ferroviário e uma incerteza na demanda da hidrovía Tapajós Teles Pires.

## 6.2. Passo 1

### 6.2.1. Caracterização do estudo de caso

A soja é a cultura agrícola brasileira que mais cresceu nas últimas três décadas e o aumento da sua produtividade está associado aos avanços tecnológicos, ao avanço da fronteira agrícola e ao crescimento das indústrias de processamento de grãos e refino de

óleos. O grão de soja é componente essencial na fabricação de rações animais e o uso na alimentação humana encontra-se em crescimento. Conforme já mencionado, a soja se firmou como um dos produtos mais destacados da agricultura nacional e da balança comercial. Em 2015, no *ranking* das principais regiões produtoras de soja, observa-se que o cultivo ocorre principalmente nas regiões Centro-Oeste e Sul do País: Mato Grosso liderou a produção com 26,4%, o que representa 35.682,3 toneladas, seguido pelo Paraná (15%), Rio Grande do Sul (14,8%), Goiás (10,2%), Mato Grosso do Sul (8,5%), Minas Gerais (5,2%) (CONAB, 2020).

Já o milho, conforme a CONAB, 2020, é o cereal mais produzido e consumido no mundo, como insumo principal na produção de proteína animal, na alimentação humana e, também, na produção de biocombustíveis. O principal destino da safra são as indústrias de rações para animais, sendo o grão também transformado em óleo, farinha, amido, margarina, xarope de glicose e flocos para cereais matinais. Em 2020, o Mato Grosso liderou a produção com 34,3% (37.025,8 mil toneladas), seguido pelo Paraná (15,4 %), Goiás (11,2 %), Mato Grosso do Sul (10,3%), Minas Gerais (7,6%), Rio Grande do Sul (3,3%) e demais Unidades da Federação (20%).

De posse dos volumes de exportação identificados no estado de Mato Grosso, foi mapeada a distribuição dos volumes, resultando nas matrizes origem-destino que representam o intercâmbio da movimentação de cargas entre os municípios destinados à exportação. Para elaborar as Matrizes Origem-Destino de Exportação, utilizou-se os dados do Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior (ALICEWEB, 2018) mantido pelo Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, que discrimina a origem das exportações por cada porto, possibilitando mapear quanto cada município (centroídes) destina de soja e de milho para exportação, conforme a Tabela 8.

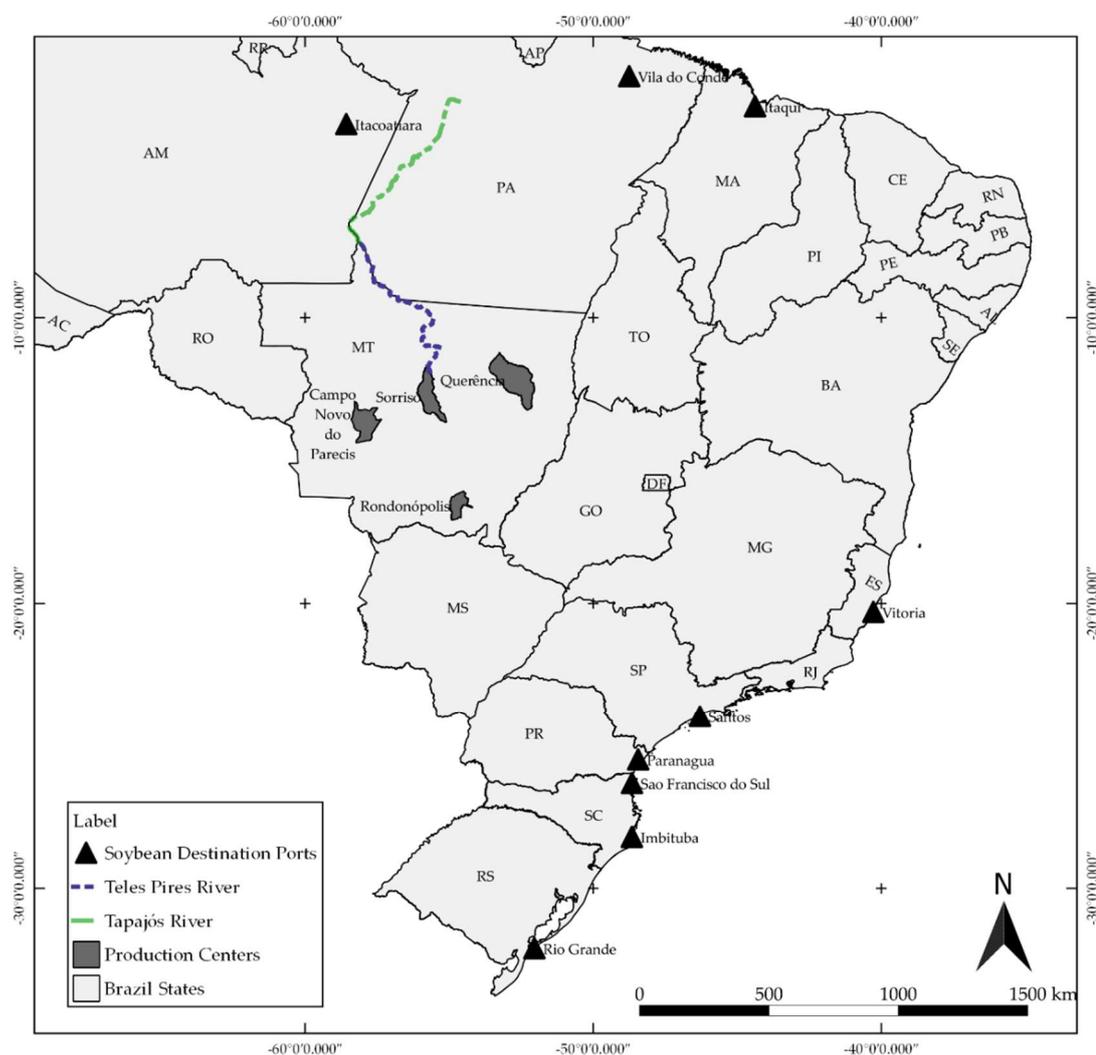
**Tabela 9:** Matriz em percentual da exportação de soja e de milho no estado de Mato Grosso

Centroide	PORTOS																			Total		
	Barcarena		Imbituba		Porto de Paranaguá		Porto de Rio Grande		Santarém		Santos		São Francisco do Sul		São Luis		Itacoatiara		Vitória			
	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja		Milho	
Alto Garças						2%						6%								100%	92%	100%
Brasnorte											5%							95%	100%			100%
Campo Novo do Parecis						18%					1%	82%			17%		82%					100%
Campo Verde						30%					96%	70%	4%									100%
Canarana	15%										59%	7%	1%		13%	57%				12%	36%	100%
Diamantino								1%			92%	91%	8%	9%								100%
Gaúcha do Norte																				100%		100%
Nova Mutum					27%						70%	100%					3%					100%
Nova Ubiratã		35%				3%			26%		74%	35%									27%	100%
Paranaita	100%	70%				0%				16%		4%						10%				100%
Porto Alegre do Norte															100%							100%
Primavera do Leste	0%				1%						86%	80%	1%		12%					1%	20%	100%
Querência		34%									37%	0%			61%	44%				2%	21%	100%
Rondonópolis					1%	13%	18%				47%	62%	21%	0%			12%	1%	3%	23%		100%
Rosário Oeste					9%						91%	100%										100%
Santa Rita do Trivelato											100%	100%										100%
São José do Rio Claro					60%						29%	100%					11%					100%
São José do Xingu															100%							100%
Sapezal	30%							43%	23%		60%						27%	17%				100%
Sinop	44%	55%	30%		1%	0%		25%	11%	0%	34%			0%								100%
Sorriso	3%	7%	11%		3%	1%		4%	1%	57%	70%	0%	6%							22%	16%	100%
Tangará da Serra						17%		5%	38%	81%	45%						14%					100%
Tapurah	28%										72%	100%										100%

Fonte: AliceWeb (2018).

As rotas de exportação para escoar a produção de soja foram definidas a partir de 23 centroides que são: Alto Garças, Brasnorte, Campo Novo do Parecis, Campo Verde, Canarana, Diamantino, Gaúcha do Norte, Nova Mutum, Nova Ubiratã, Paranaíta, Porto Alegre do Norte, Primavera do Leste, Querência, Rondonópolis, Rosário Oeste, Santa Rita do Trivelato, São José do Rio Claro, São José do Xingu, Sapezal, Sinop, Sorriso, Tangará da Serra e Tapurah. E como destino foram considerados 11 portos: Barcarena, Santana, Imbituba, Paranaguá, Rio Grande, Santarém, Santos, São Francisco do Sul, São Luís, Itacoatiara e Vitória, conforme a Figura 23.

**Figura 22:** Principais portos marítimos brasileiros exportadores de soja



Fonte: Elaboração própria

As rotas consideradas nesta pesquisa são apresentadas na Tabela 9, que detalha as origens (centroides), os destinos (portos marítimos), as paradas para transbordo (cidade transbordo), o trajeto (vias) e os modos de transportes considerados nas rotas de exportação. Em relação à configuração futura, as rotas que utilizam a hidrovia Tapajós-Teles Pires são as rotas potenciais.

**Tabela 10:** Rotas utilizadas para escoar a produção de soja dos centros de produção aos portos de destino

DMU	Centroides		Caracterização da Rota			Portos Marítimos	
	23 Centroides	Vias	Cidade de Transbordo	Vias	Cidade de Transbordo	Vias	
1	Rodoviário-Hidroviário (Tapajós e Rio Amazonas)	BR 163, BR 242, BR 251, BR 070	Miritituba (PA)	Hidrovia Tapajós, Amazonas e Pará	-	-	Barcarena
	Rodoviário-Hidroviário (Rio Amazonas)	BR 163, BR 242, BR 251, BR 070	Santarém (PA)	Hidrovia Amazonas e Pará	-	-	Barcarena
	Rodoviário-Hidroviário (Rio Madeira e Amazonas)	BR 163, BR 364, BR 242, BR 251, BR 070	Porto Velho (RO)	Hidrovia Madeira, Amazonas e Pará	-	-	Barcarena
	Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles Pires)	BR 163, BR 242, BR 251, BR 070	Cachoeira Rasteira (Apiacás-MT)	Hidrovia Tapajós, Teles Pires	-	-	Barcarena
	Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles Pires)	BR 163, BR 242, BR 251, BR 070	Sinop (MT)	Hidrovia Tapajós, Teles Pires	-	-	Barcarena
2	Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles Pires)	BR 163, BR 242, BR 251, BR 070	Cachoeira Rasteira (Apiacás-MT)	Hidrovia Tapajós, Teles Pires	-	-	Santana
	Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles pires)	BR 163, BR 242, BR 251, BR 070	Sinop (MT)	Hidrovia Tapajós, Teles Pires	-	-	Santana
3	Rodoviário	BR 163, BR 267, BR 376, BR 487, BR 466, BR277, BR 242, BR 251, BR 070	-	-	-	-	Ibituba
4	Rodoviário	BR 163, BR 267, BR 376, BR 242, BR 251, BR 070	-	-	-	-	Paranaguá
	Rodoviário-Ferrovário	BR 163, BR 267, BR 242, BR 251, BR 070	Maringá (PR)	Ferrovia ALLMS	-	-	Paranaguá
5	Rodoviário-Ferrovário	BR 163, BR 242, BR 251, BR 070	Cruz Alta (RS)	Ferrovia ALLMS	-	-	Rio Grande
6	Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles Pires)	BR 163, BR 242, BR 251, BR 070	Cachoeira Rasteira (Apiacás-MT)	Hidrovia Tapajós, Teles Pires	-	-	Santarém
	Rodoviário-Hidroviário	BR 163, BR 242, BR 251, BR 070	Itaituba (PA)	Hidrovia Tapajós	-	-	Santarém
7	Rodoviário	Rodoviário	-	-	-	-	Santos

	Rodoviário-Ferrovário	Ferrovário	BR 163, BR 242, BR 251, BR 070	Rondonópolis (MT)	Ferrovia ALLMN	-	-	Santos
	Rodoviário-Ferrovário		BR 163, BR 364, BR 242, BR 251, BR 070	Alto Araguaia (MT)	Ferrovia ALLMN	-	-	Santos
	Rodoviário-Hidroviário (Tietê Paraná)-Ferrovário		BR 163, BR 364, BR 242, BR 251, BR 070	São Simão (GO)	Hidrovia Tietê	Pederneiras (SP)	Ferrovia ALLMM	Santos
8	Rodoviário		BR 163, BR 267, BR 376, BR 487, BR 466, BR277, BR 242, BR 251, BR 070	-	-	-	-	São Francisco do Sul
9	Rodoviário-Ferrovário		BR 158, PA 287, TO 335, BR 242, BR 251, BR 070	Palmeirante (TO)	Ferrovia EFC	-	-	São Luís
10	Rodoviário-Hidroviário (Rio Madeira)		BR 163, BR 364, BR 242, BR 251, BR 070	Porto Velho (RO)	Hidrovia Madeira			Itacoatiara
11	Rodoviário-Ferrovário		Rodoviário-Ferrovário	Araguari (MG)	Ferrovia FCA e EVFM	-	-	Vitória

Nota: DMU - Unidades Tomadoras de Decisão.

Fonte: Elaboração própria

Conforme Tabela 9, a DMU 3 apresenta a peculiaridade do centro de produção Rondonópolis ser também uma cidade transbordo para as ferrovias, enquanto que os demais centros produtores utilizam as rodovias para chegar à cidade transbordo de Rondonópolis. Apesar disto, o critério de homogeneidade não é alterado por compartilharem do mesmo objetivo de escoar a produção de soja e utilizar os mesmos *inputs* e *outputs*, conforme já mencionado na Seção 4.1.

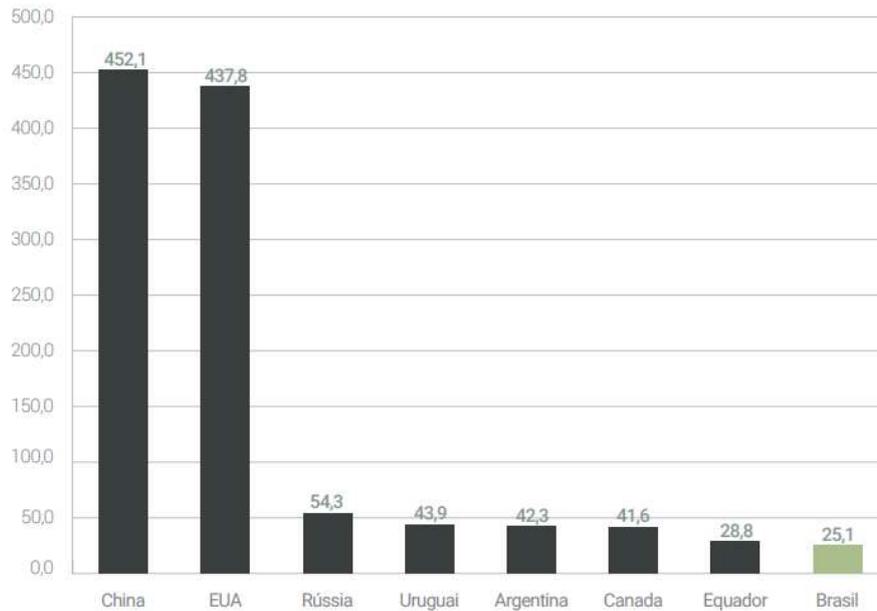
#### 6.2.1.1. Sistema de transporte no estado de mato grosso

##### I. Sistema de transporte rodoviário

Segundo o Sistema Nacional de Viação – (SNV, 2019), a malha rodoviária nacional compreende 213.453 km de rodovias pavimentadas, contrapondo-se a 1.364.839 km de rodovias não pavimentadas. Apesar de apresentar números crescentes nos últimos anos, a densidade da malha rodoviária pavimentada total do Brasil ainda é muito pequena, principalmente quando comparada com a de outros países de dimensão territorial semelhante

ou mesmo com alguns países da América Latina. Verifica-se que são aproximadamente 25 km de rodovias pavimentadas para cada 1.000 km<sup>2</sup> de área, o que corresponde a apenas 12,3% da extensão rodoviária nacional. Enquanto na China são 452,1 km por 1.000 km<sup>2</sup> de área, nos Estados Unidos são 437,8 km e na Rússia, 54,3 km. Dados que revelam a necessidade de investimentos para ampliação e melhoria desse modo conforme a Figura 24.

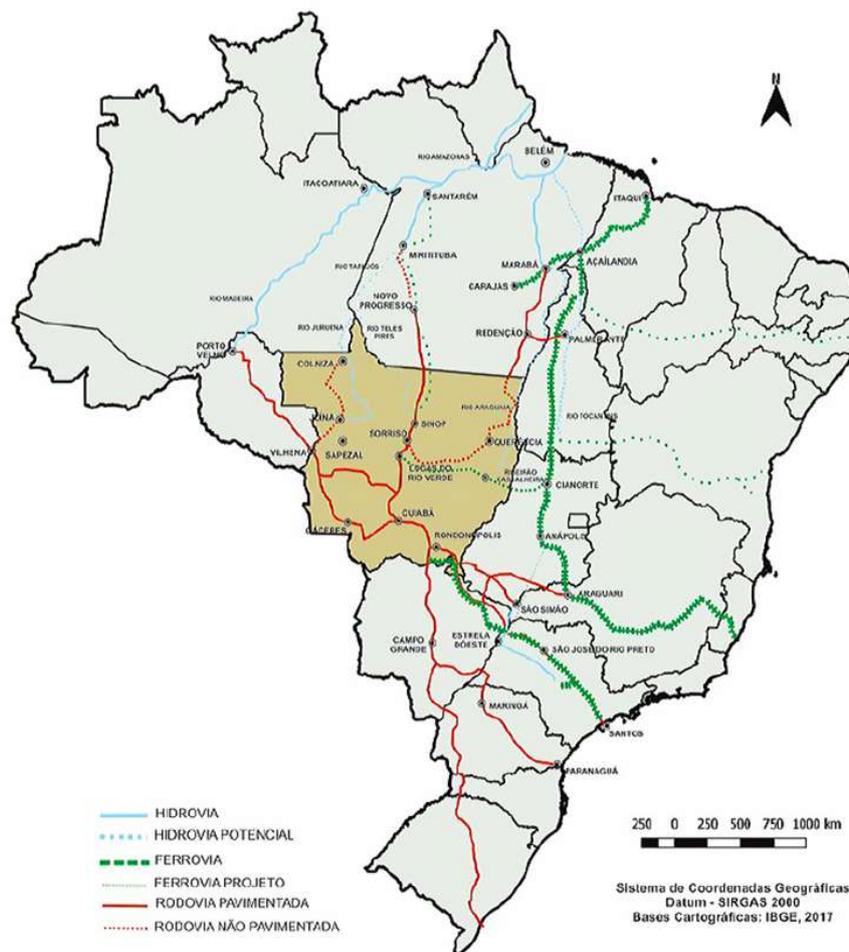
**Figura 23:** Densidade da malha rodoviária pavimentada por país (valores em km/1.000 km<sup>2</sup>)



**Fonte:** CNT (2019).

Apesar de ser o estado com maior produção de soja do País, Mato Grosso possui um dos piores sistemas de transportes do grão do Brasil. A maior parte da soja mato-grossense é escoada ainda pelo modo rodoviário, por estradas federais e estaduais. As principais rodovias utilizadas para o escoamento da soja são a BR-163 e a BR-364. Conforme a Figura 25, a primeira liga as áreas produtoras de Mato Grosso ao porto de Paranaguá (PR). Já a BR-364 interliga o Mato Grosso e o Mato Grosso do Sul a Rondônia e também ao Porto de Santos (SP). As condições das rodovias utilizadas para o escoamento de grande parte da *commodity* não são suficientemente adequadas, o que reflete em perda de competitividade do grão exportado (LAVORENTE, 2011).

**Figura 24:** Mapa das Rodovias Utilizadas para Escoamento da Produção de Mato Grosso



**Fonte:** IBGE, 2017

A 21ª Pesquisa CNT de Rodovias revelou que 71,1% (3.443 km) das rodovias do estado de Mato Grosso apresentam algum tipo de deficiência, sendo avaliadas como regulares, ruins ou péssimas. Esse quadro deficitário no pavimento do estado encarece o custo do transporte rodoviário em 34,9%, o maior da região Centro-Oeste. No estado, 28,9% (1.399 km) da malha foi classificada como ótima ou boa. A pesquisa da Confederação Nacional do Transporte percorreu 4.842 km no Mato Grosso, avaliando as condições do pavimento, da sinalização e da geometria da via. Conforme a CNT (2017), apenas para as ações emergenciais de reconstrução e restauração das vias, estima-se que seriam necessários R\$ 2,37 bilhões. Para a manutenção dos trechos desgastados, o custo seria de R\$ 648,96

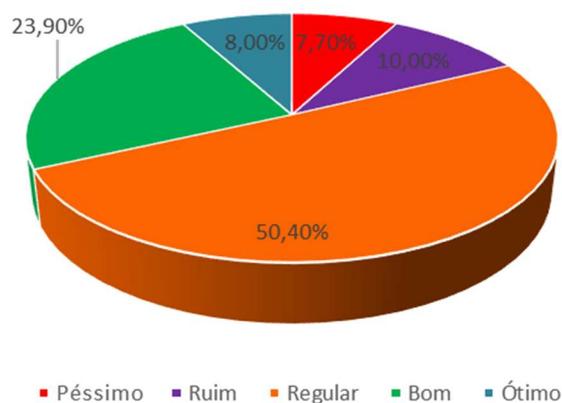
milhões. Na Tabela 10 está detalhada a situação das rodovias do estado de Mato Grosso e na Figura 26 está uma classificação geral da situação das rodovias do estado de Mato Grosso.

**Tabela 11:** Estado das Rodovias de Mato Grosso

Rodovia	Ext. total (KM)	Estado Geral	Pavimento	Sinalização	Geometria
MT-060/BR-070	10	Ótimo	Ótimo	Ótimo	Bom
MT-130	113	Bom	Bom	Bom	Regular
MT-208	48	Ruim	Regular	Ruim	Péssimo
MT-235	105	Ruim	Regular	Ruim	Ruim
MT-240	60	Péssimo	Ruim	Péssimo	Ruim
MT-243/BR-158	9	Ótimo	Bom	Regular	Regular
MT-246	85	Péssimo	Ruim	Péssimo	Péssimo
MT – 320	154	RegularRuim	Ruim	Péssimo	Péssimo
MT – 343	91	Péssimo	Ruim	Péssimo	Ruim
MT - 343/BR-070	12	Regular	Bom	Ruim	Regular
MT – 358	129	Péssimo	Ruim	Péssimo	Ruim
MT – 407	28	Regular	Regular	Regular	Bom
MT – 483	11	Péssimo	Péssimo	Péssimo	Péssimo
BR – 070	834	Regular	Regular	Regular	Regular
BR – 158	665	Regular	Regular	Regular	Ruim
BR – 163	1157	Regular	Regular	Regular	Regular
BR – 174	618	Regular	Regular	Regular	Ruim
BR - 242	70	Regular	Bom	Regular	Regular
BR – 251	9	Bom	Ótimo	Regular	Bom
BR – 364	1389	Regular	Regular	Regular	Regular

Fonte: CNT (2018), CNT (2019)

**Figura 25:** Classificação Geral da Situação das Rodovias do estado de Mato Grosso



Fonte: CNT (2019).

Algumas rodovias precisam ser destacadas devido a sua importância no escoamento da produção do estado de Mato Grosso. Dentre as principais rodovias estaduais, encontram-se as MTs - 246, 343, 358, 170, que estão no eixo estruturante de escoamento da produção da

região de Campo Novo do Parecis e Brasnorte, tanto para a hidrovia do Rio Madeira, quanto para os Portos de Santos e Paranaguá.

Além delas, não se pode deixar de destacar a MT – 235, que corta o estado no sentido Leste-Oeste e é de suma importância no quesito transporte, já que possibilita, a toda a Região produtora de Sapezal, Campos de Júlio e Comodoro, o acesso aos Portos de Santos, Paranaguá e ao de Santarém, por meio da ligação com o município de Nova Mutum.

Há também a MT-242, que corta o estado de Mato Grosso no mesmo sentido das MTs acima citadas, interliga Brasnorte aos municípios de Ribeirão Cascalheira, passando por importantes municípios produtores, tais como Ipiranga do Norte, Sorriso, Nova Ubiratã e Gaúcha do Norte. É uma rodovia que de fato dá acesso a todos os corredores de exportação de Mato Grosso, estando, inclusive, sua completa federalização e pavimentação previstas no Plano de Aceleração do Crescimento (PAC).

Por último, a MT-100, pois ela liga Alto Araguaia ao município de Cocalinho na divisa MT/GO. A importância dessa rodovia deve-se ao fato de ligar a região produtora do Araguaia aos Portos de Santos e Paranaguá. Sua federalização traria grandes benefícios à logística do transporte em Mato grosso.

## **II. Sistema de transporte ferroviário**

A Ferrovia Ferronorte Brasil S.A. é a única existente no estado de Mato Grosso. Atualmente é de posse da América Latina Logística (ALL), que administra toda sua extensão de 500 quilômetros entre Alto Araguaia/MT e Santa Fé do Sul/SP até Santos/SP. De Santa Fé do Sul a Santos, o trecho da ferrovia é da Ferrovia Bandeirantes S. A. (FERROBAN). Em toda a extensão, a bitola da ferrovia, que constitui a distância entre os trilhos, é do tipo larga (1,6 m) e a velocidade média comercial de transporte é de 27,3 km/h no percurso da Ferronorte e de 24,1 km/h no percurso da Ferroban. Em Alto Araguaia/MT fica localizado o terminal intermodal que possui capacidade estática de 32 mil toneladas. Possui as empresas Cargill, A. Maggi, Bunge, ADM, Galvani, Mosaic e Coimbra como clientes e os principais produtos movimentados nesse terminal são grãos (milho e soja) e farelos (ANUÁRIO RF, 2011). A Figura 27 apresenta quais são as principais malhas ferroviárias.

**Figura 26:** Mapa das Ferrovias Utilizadas para Escoamento da Produção de Mato Grosso



**Fonte:** Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária – IMEA. Entendendo o mercado de soja. Mato Grosso (2015).

Em 2013, a América Latina Logística (ALL) inaugurou o Complexo Intermodal de Rondonópolis e ampliou a malha ferroviária em 260 quilômetros. O complexo está localizado estrategicamente no ponto de convergência entre três rodovias: BR-163, BR-364 e BR-070.

Quanto aos terminais ferroviários em funcionamento no Mato Grosso, a Tabela 11 apresenta como estes estão estruturados do ponto de vista operacional.

**Tabela 12:** Características dos terminais da ALLMN no Mato Grosso

Local	Tipo de Terminal	Principais produtos movimentados	Capacidade de descarga	Capacidade de Carregamento	Distância do Porto de Santos
Alto Taquari	Granéis (ALL, BR Distribuidora)	Soja, farelos e milho (para o mercado interno) e para o mercado externo via Porto de Santos; Recepção de fertilizantes, principalmente do exterior via Porto de Santos.	338.424 TU/mês	389.491 TU/mês	1.303,43 km
Alto Araguaia	Granéis (ALL, LDC, Mosaic, Galvani e Bunge)	Soja, farelos e milho (para o mercado interno) e para o mercado externo via Porto de Santos; Recepção de fertilizantes, principalmente do exterior via Porto de Santos.	333.518 TU/mês	652.573 TU/mês	1.401,08 km
Itiquira	Granéis (Seara)	Soja e milho para o mercado externo via portos de Santos, Paranaguá e São Francisco do Sul.	576.000 TU/mês	576.000 TU/mês	1.521,08 km
Rondonópolis	Granéis e contêineres (ALL, Brado, Noble, Raizen)	Soja, farelos e milho (para o mercado interno) e para o exterior via Porto de Santos; Recepção de fertilizantes, principalmente do exterior via Porto de Santos, e combustíveis.	3.240.000 TU/mês	3.600.000 TU/mês	1.661,08 km

Fonte: LIMA (2015).

A partir do ano 2000, com a instalação do terminal ferroviário da ALLMN no município de Alto Taquari em Mato Grosso, esse estado passou a contar em seu território com essa alternativa de transportes. Com a expansão da rede ferroviária posteriormente até Alto Araguaia, Itiquira e finalmente em Rondonópolis, o modo ferroviário se tornou estratégico para o escoamento dos produtos voltados à exportação, principalmente de grãos (soja e milho) e farelo de soja, que são direcionados ao porto de Santos (LIMA, 2015).

A ALL mudou para Rumo Malha Norte (RMN) em 2008 e em 2014 ocorreu fusão entre a ALL e a Rumo, operando nos Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, principalmente, no transporte de commodities, de Rubineia-SP até Rondonópolis-MT. A ferrovia tem 735 Km de extensão com bitola larga, ligando esses dois Estados e possibilitando o escoamento da produção para o porto de Santos (ANTT, 2020c). O intercâmbio entre essas duas malhas ferroviárias e o maior porto brasileiro é chamado de “A Operação Norte” pela concessionária Rumo Logística

### III. Sistema de transporte hidroviário

As hidrovias também fazem parte da matriz de transporte utilizada para o escoamento da soja para o mercado externo no estado de Mato Grosso. Para melhor visualização, segue o mapa (Figura 27) com as rotas hidroviárias que estão em funcionamento.

**Figura 27:**Vias economicamente navegáveis (2018)



**Fontes:** ANTAQ (2018), ANTAQ (2019)

Para o escoamento da soja, a hidrovia do Rio Madeira é utilizada entre os trechos de Porto Velho/RO até o terminal de Itacoatiara/AM, ou até o Porto de Manaus/AM, ou até o Porto de Santarém/PA. A soja segue das regiões de Mato Grosso até Porto Velho/RO via modo rodoviário, onde ocorre a troca do modo rodoviário para fluvial. Segundo a ANTAQ, esse transporte é caracterizado como longitudinal interestadual e são movimentados 10 milhões de toneladas de grãos anualmente pelo Rio Madeira, por meio de barças.

O Complexo Madeira-Amazonas detém de acordo com a (CNT, 2015) a maior capacidade de transporte em toneladas no País, sendo os rios utilizados como rota de escoamento principal das regiões Norte e Centro-Oeste. Outras hidrovias também foram citadas como potenciais rotas, mas ainda carecem de investimentos, tais como os rios dos eixos Teles-Pires-Tapajós e Tocantins-Araguaia.

No Porto de Santarém/PA, existe o terminal privativo da multinacional Cargill para a exportação de grãos, especificamente para a soja. Essa instalação é um suporte para viabilizar a exportação de grande parte da produção de Mato Grosso.

No estudo que resultou no PHE do Ministério da Infraestrutura, destaca-se que “A hidrovia do Tapajós possui uma posição geográfica estratégica, conectando grandes centros de produção agrícola brasileiros ao rio Amazonas e conseqüentemente ao Oceano Atlântico. No entanto, atualmente, a navegação só é viável da cidade de Santarém, no encontro dos rios Tapajós e Amazonas, até a cidade de Itaituba, no rio Tapajós, com cerca de 280 km de comprimento. A montante dessa cidade, o rio Tapajós, e seus principais afluentes (rios Teles Pires e Juruena), apresentam uma série de afloramentos rochosos, corredeiras e saltos, intransponíveis por embarcações comerciais” (BRASIL, 2013). A hidrovia Tapajós/Teles-Pires pode se tornar um elemento fundamental na consolidação da infraestrutura de transporte para tornar o Mato Grosso e parte da região Centro-Oeste "celeiros mundiais" da produção de grãos. Podendo, ainda, proporcionar inúmeros benefícios regionais. O prazo de execução das obras necessárias à consolidação da via navegável e implantação da navegação comercial é de cerca de 3 anos (AHIMOR, 2012).

#### **IV. escoamento de grãos do estado de Mato Grosso por porto**

Os portos de Santos/SP, Manaus/AM, Barcarena/PA, Vitória/ES, Paranaguá/PR, Santarém/PA, São Francisco do Sul/SC, São Luís/MA e Imbituba/SC são responsáveis pelo escoamento de 99% da produção de soja e milho mato-grossense. A Tabela 12 mostra a porcentagem da soja e do milho mato-grossense que é escoada pelos portos brasileiros. Esses dados foram resultados da média de escoamento da produção do ano de 2017 (janeiro a dezembro) (COMEX STAT, 2017).

**Tabela 13:** Escoamento de Grãos do estado de Mato Grosso por Porto (Participação %) em 2020

Portos	Exportação - soja	Exportação - milho
Paranaguá - PR	2,94%	1,13%
Santos - SP	40,18%	43,41%
Manaus - AM	9,57%	4,17%
São Francisco do Sul - PR	0,07%	0,07%
Vitória - ES	1,73%	1,85%
São Luís - MA	6,69%	6,81%
Santarém - PA	11,14%	13,21%
Imbituba - SC	1,55%	-
Rio Grande – RS	0,05%	-
Barcarena - PA	25,40%	27,58%
Porto Velho - RO	-	0,01%
Outros	0,68%	1,76%

Fonte: IMEA (2020)

## V. Corredores estratégicos

A visão moderna de corredor de escoamento evoluiu de simples vias de transporte para uma abordagem logística que complementa as cadeias de suprimento que ocupam os espaços econômicos pré-definidos. Ou seja, os fluxos de comércio encontram sistemas de transporte aptos a suportar a movimentação de produtos, compreendendo condições de armazenamento e distribuição, espaço de distribuição, sistemas de transportes e condições de acessibilidade aos mercados locais, regionais, nacionais e externos (LEMOS e MARTINS, 2011).

Bazaras *et al.* (2015) definem um corredor de transportes como sendo um “sistema concreto de transporte, em condições **técnicas**, organizacionais e legais de permitir o uso das redes consideradas”. Afirmam, ainda, que para que haja o desenvolvimento de um corredor de transportes de importância internacional, deve-se aplicar uma abordagem multimodal, priorizando o desenvolvimento de infraestruturas, tecnologias e serviços.

Engstrom (2010) compreende que os corredores refletem um conceito de transporte integrado no qual cabotagem, ferrovias, hidrovias e rodovias se complementarão para permitir a escolha por um transporte mais sustentável.

Assim definido, um corredor de transporte apresenta como componentes básicos a infraestrutura viária, os veículos, os equipamentos dos terminais (inclusive portos), os meios de operação, de gerenciamento e de suporte institucional, de financiamento e organizativos, assim como outros recursos necessários ao funcionamento dos transportes em sua vinculação com as atividades de coleta, escoamento, armazenagem e distribuição.

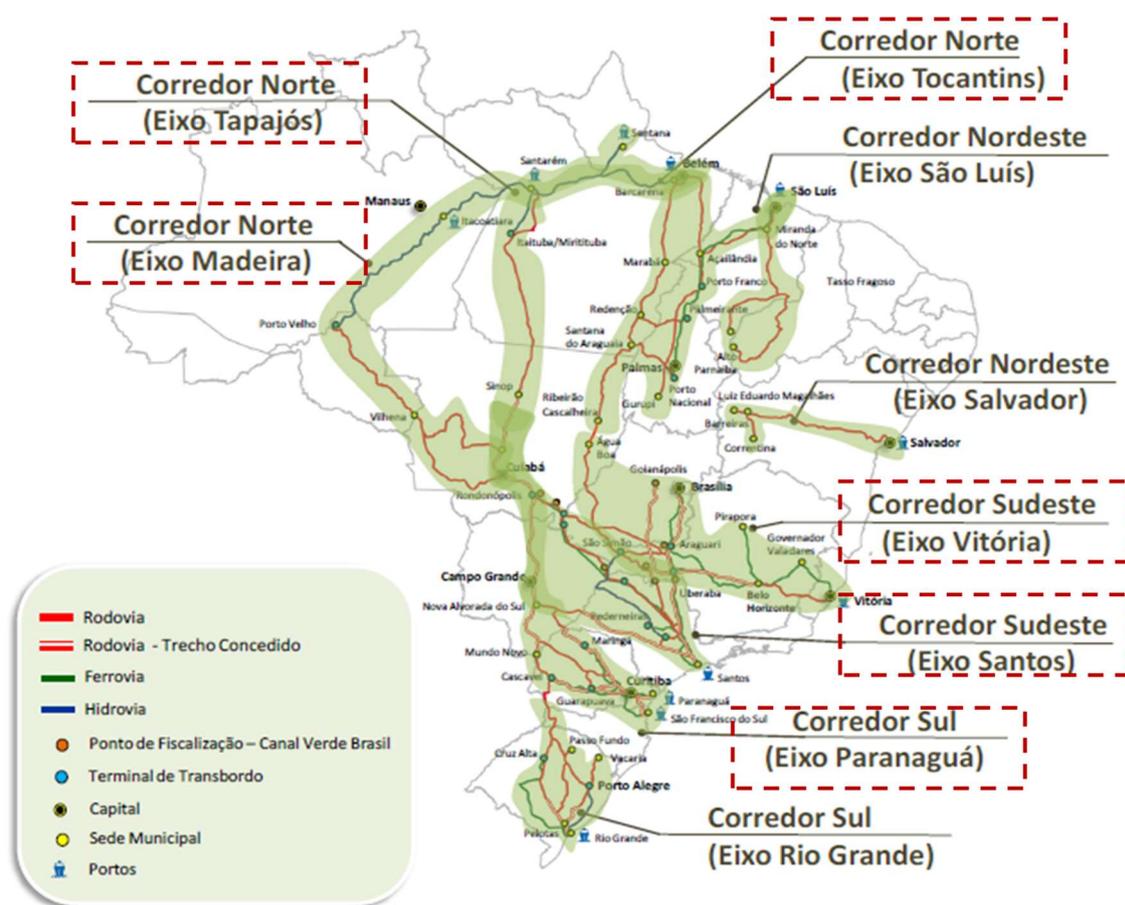
A união da estrutura física das vias com os terminais dá início à multimodalidade e às operações intermodais, sendo atualmente exigidos novos atributos dos serviços de transportes. A interconexão da modalidade rodoviária com as outras modalidades são destacadas como eficiência do sistema de transportes. Desta forma, os investimentos nos corredores de transportes enfatizam o uso da multimodalidade e o transporte se impõe como elo da cadeia logística reforçada por medidas de produtividade que visam à redução dos custos logísticos (GEIPOT, 2002).

#### *- Corredores de transportes do estado de Mato Grosso*

Os eixos de transportes em Mato Grosso, segundo Almeida (2004), são um conjunto de vias utilizadas para assegurar o escoamento da produção regional até a rede troncal que integra os Corredores de Transportes, tal qual reconhecido nos estudos do extinto GEIPOT. A multimodalidade desse sistema local está caracterizada pela presença de algumas hidrovias, uma vez que Mato Grosso, por sua situação central na América do Sul, tem acesso às três principais bacias hidrográficas: Platina, Amazônica e Araguaia-Tocantins. Em termos territoriais, a malha troncal constituída pelas rodovias BR-163/364/070 permite acesso, aproximadamente equidistante, aos principais portos especializados em exportação no sul e sudeste do País, enquanto a BR-158 se constitui em um dos principais eixos de acesso aos portos da calha do Amazonas e do norte e nordeste.

Após identificados os principais pares nas matrizes de origem-destino de exportação, foi possível mapear os fluxos de carga mais relevantes e respectivos volumes, que representam o intercâmbio da movimentação de cargas entre as regiões brasileiras para atender ao mercado externo que possibilitaram delimitar os Corredores Logísticos Estratégicos (Figura 29). Ou seja, os sistemas compostos de rotas modais e intermodais, por meio dos quais convergem as movimentações de cargas do complexo de soja e milho do estado de Mato Grosso que estão destacados em vermelho. Desta forma, a partir da infraestrutura disponível, tem-se a infraestrutura dos corredores logísticos utilizada para escoamento dos grãos (MTPA, 2017).

**Figura 28:** Corredores Estratégicos do estado de Mato Grosso



Fonte: MTPA (2017).

Apresenta-se a seguir um resumo dos principais corredores de transportes que estão sendo utilizados na exportação da produção regional de Mato Grosso, de acordo com a

denominação do GEIPOT (1995) e do BNDES (2000), embora tenham sido introduzidas pequenas alterações, pela dinâmica dos corredores, descrita por MTPA (2017). Para compreender a Figura 30, foram detalhados na Figura 9, para cada Corredor Estratégico, a origem, os Eixos e suas respectivas rotas, o porto de destino e os modos de transportes utilizados.

**Figura 29:** Detalhamento dos Corredores Estratégicos do estado de Mato Grosso

<b>Corredor Norte</b>		
Origem	Eixo Madeira	Destino
 Cuiabá/MT	BR 070, BR174 e BR 364, BR 163, BR 070, BR 230	Itacoatiara
 Sorriso/MT	Hidrovia do Rio Madeira e Rio Amazonas	Santarém Barcarena(Vila do Conde)
Origem	Eixo Tapajós	Destino
 Sorriso/MT	BR 163	Santarém
	Hidrovia do Rio Tapajós e do Rio Amazonas	Santana Barcarena(Vila do Conde)
Origem	Eixo Tocantins	Destino
 Ribeirão	BR 158, BR 155, PA (150, 475, 256, 252, 151), PA 287 e TO 335, rodovias estaduais, BR 226, BR 222, BR 135	Barcarena(Vila do Conde)
 Cascalheira/MT	Ferrovia Norte sul (FNS), Ferrovia Estrada de Ferro Carajas (EFC), Ferrovia Transnordestina (FTL)	São Luís/MA
<b>Corredor Sudeste</b>		
Origem	Eixo Santos	Destino
 Sorriso/MT	BR 163, BR 364/MT e BR 163/MS, BR 267/MS, SP 270/280, BR 374/SP, Rodovias Estaduais, BR 364/MT-GO, BR 364-365/MG, BR 153/MG, BR 262/MG, BR 158	Santos
	Hidrovia Tietê-Paraná	
 Água Boa/MT	Ferrovia América Latina Malha Norte e Paulista (ALL) e MRS Logística Ferrovia Centro Atlântica (FCA), Ferrovia América Latina Paulista (ALLMP)	
Origem	Eixo Vitória	Destino
 Santos	BR 158/MT, BR 060/GO, BR 452/GO-MG, BR 365/MR, BR 050/MG	Vitória/ES
	Ferrovia Centro Atlântica (FCA), Ferrovia Estrada de Ferro Vitória Minas (EFVM)	
<b>Corredor Sul</b>		
Origem	Eixo Paranaguá	Destino
 Sorriso/MT	BR 163 e 364/MT e BR 163/MS, BR 267/MS, Rodovias Estaduais, BR 376/PR e BR 277/PR	Paranaguá/PR

**Fonte:** Adaptado do MTPA (2017).

### 6.3. Passo 2

Após definir a situação atual do sistema de transporte de Mato Grosso, foram levantados nesse passo os possíveis indicadores para avaliar o desempenho relacionado à

eficiência econômica, ambiental e social, por meio da fundamentação dos conceitos de sustentabilidade dos sistemas de transportes intermodais. Um sistema de transportes sustentável possibilita a redução do consumo de energia, emissão de poluentes e diminui os custos de manutenção dos veículos, além da melhoria na segurança viária. Nesse contexto, foi elaborada a Tabela 1 do Capítulo da Eficiência nos Transportes. Para identificar a(s) rota(s) mais sustentável(is), apresentam-se as variáveis consideradas nesta pesquisa, conforme o próximo passo (Passo 3).

### **6.4. Passo 3**

#### **6.4.1. Seleção das variáveis**

O método adotado para o levantamento de literatura científica considerou artigos relacionados ao sistema de transportes de cargas que consideraram em seus estudos os transportes por rodovias, ferrovias e hidrovias. Além disso, buscaram-se artigos que tinham como foco analisar o desempenho das rotas de transportes de cargas que utilizaram o método DEA. Diante disso, os critérios de seleção escolhidos para essa revisão são detalhados a seguir:

Para tal, foi utilizada uma combinação de palavras-chave na busca por artigos científicos, que foram: “DEA” and “Freight Transport”. Nesta pesquisa, foi dada a preferência por artigos contemporâneos (atuais), cujo período de publicação foi entre 2008 e 2018.

Além disso, devido à ampla disponibilidade de material científico (artigos de revista, congressos especializados, entre outros), as bases de dados científicas utilizadas foram: Scopus, ScienceDirect e Web of Science. Os campos de busca das palavras-chave foram; Títulos, Abstracts e Palavras-Chave.

O resultado dessa busca identificou um total de 49 artigos. Entretanto, foram excluídos os artigos repetidos e aqueles que não eram aderentes à temática desta pesquisa, restando um total de sete artigos

As informações extraídas dos artigos foram; o(s) modelo(s) DEA considerado(s); as variáveis do problema, tendo em vista os aspectos econômico, ambiental e social; e os modos de transportes (rodoviário, ferroviário e hidroviário), conforme a Tabela 13.

**Tabela 14:** Resultado da pesquisa de artigos que aplicaram o método DEA para analisar sistemas de transporte de carga

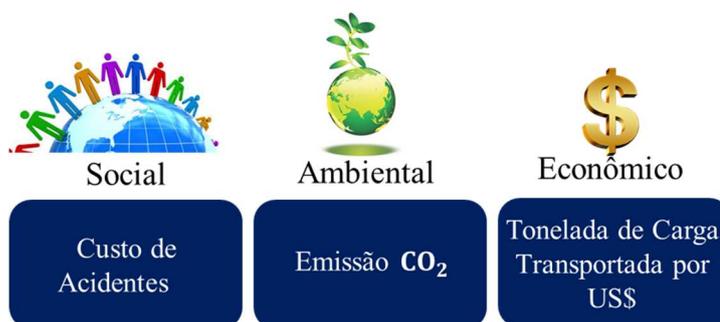
Autor	Altern. Trans.			Modelo DEA e Orientação	Variáveis utilizadas		
	Rodo	Ferro	Hidro		Ambiental	Econômica	Social
Hilmola (2015)	X	X	X	CCR – <i>input</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Emissão de CO<sub>2</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Consumo de combustível;</li> <li>Valor agregado bruto à economia do setor de transporte;</li> <li>Carga transportada (toneladas).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Número de pessoas empregadas no setor de transporte</li> </ul>
Vasco Correa (2012)	X	X		BCC e CCR - Orientação a <i>input</i> e a <i>output</i>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>Combustível;</li> <li>Capacidade de carga;</li> <li>Lubrificantes;</li> <li>Filtros;</li> <li>Graxa;</li> <li>Reparação e manutenção;</li> <li>Salários.</li> </ul>	-
Kengpol <i>et al.</i> (2014)	X	X	X	DEA/AHP/ZOGP	<ul style="list-style-type: none"> <li>Emissão de CO<sub>2</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Custos de transporte;</li> <li>Tempo de transporte;</li> <li>Risco.</li> </ul>	-
Hilmola <i>et al.</i> (2015)	X	X	X	CCR - <i>input e output</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Emissão de CO<sub>2</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prazo de entrega;</li> <li>Consumo de diesel;</li> <li>Custos Totais;</li> <li>Carga transportada (toneladas).</li> </ul>	-
Holden <i>et al</i> (2016)	X			BCC - Modelo de saída indesejável	<ul style="list-style-type: none"> <li>Emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Peso;</li> <li>Volume;</li> <li>Distância.</li> </ul>	-
Melo <i>et al</i> (2018)	X	X	X	SBM	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fator de eliminação (alienação de ativos produtivos após o término do ciclo econômico);</li> <li>Emissões de Poluentes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Consumo de combustível;</li> <li>Área plantada;</li> <li>Capacidade de armazenamento estático fora da fazenda;</li> <li>Colheita Transportada;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ocorrência de acidentes com Fatalidades.</li> </ul>

Autor	Altern. Trans.			Modelo DEA e Orientação	Variáveis utilizadas		
	Rodo	Ferro	Hidro		Ambiental	Econômica	Social
Oliveira & Cicolin (2016)	X	X	X	BCC – <i>output</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desenvolvimento Sustentável (Dimensão Aprendizagem e Crescimento);</li> <li>• Consumo de combustível;</li> <li>• Idade da frota;</li> <li>• Composição da matriz de transporte.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Custos logísticos (dimensão financeira);</li> <li>• Composição da matriz de transporte;</li> <li>• Disponibilidade de armazéns;</li> <li>• Custo de produção de milho;</li> <li>• Produtividade do milho no campo;</li> <li>• Participação DMU (dimensão do cliente);</li> <li>• Custo de transporte;</li> <li>• Fila nos portos/navios;</li> <li>• Extensão da rota;</li> <li>• Prazo de entrega (dimensão interna de processos de negócios);</li> <li>• Velocidade média.</li> </ul>	-

**Fonte:** Elaboração própria

Na Tabela 13, as variáveis acerca das emissões de GEE foram observadas com maior frequência, o que pode indicar maior aceitação pelos pesquisadores na solução de problemas em sistemas de transportes de cargas. Por fim, não foi observado em nenhuma publicação variável que diga respeito ao volume de carga transportada por unidade monetária, considerada neste trabalho como uma variável de aspecto econômica. As variáveis do problema (Figura 31) serão apresentadas a seguir.

**Figura 30:** As variáveis do Problema



**Fonte:** Elaboração própria

#### 6.4.1.1 Custo de acidentes

O custo do acidente (US \$ / (t.km)), adotado aqui como aspecto social, pode ser considerado um resultado indesejado do processo de transporte da soja. No entanto, seu impacto cai nas três categorias: econômica (perdas de produto), ambiental (contaminação do solo pelo produto transportado) e social (fatalidades humanas). Segundo Leal Junior (2010), o escopo dos impactos sociais e ambientais é percebido, em particular, pelas pessoas que moram perto das rodovias. As implicações são que a população local pode alterar a escolha de suas rotas rotineiras de movimento devido ao risco percebido de eventos indesejados (como acidentes) envolvendo transporte rodoviário.

Nellthorp *et al.* (1998) afirmam que a ocorrência de acidentes se apresenta de duas formas: os acidentes relacionados ao acidente em si, tais como, danos materiais aos veículos, mão de obra para reparos, serviços de emergência, seguro e congestionamentos; e os acidentes relacionados aos acidentados: menor geração de riqueza, custos médicos e custos relacionados à dor. Nesta pesquisa, a ocorrência de acidentes considerou a forma relacionada aos acidentados, devido a uma possível influência no âmbito social.

O cálculo do custo de acidente (AC) foi extraído de Leal Junior (2010), que é dado pela relação entre o Custo de Acidente Total (TAC—US\$) e o Custo do Transporte (CT—1000 t.km), conforme apresentado na Equação 41:

$$AC = \frac{TAC}{CT} \quad \text{Equação 41}$$

Os valores e resultados de cada modo de transporte são apresentados na Tabela 14 (BALEŽENTIS *et al.*, 2016).

**Tabela 15:** Custo de Acidente de cada Modo de Transporte

Modos	TAC (US\$)	CT (1000 t. km)	AC (US\$/1000 t. km)
Hidrovia	61,294.426	1,272,000	0.0482
Ferrovia	41,906,527,789	164,809,000	0.2543
Rodovia	456,666,790,703	485,625,000	0.9404

#### 6.4.1.2 Emissão $CO_2$

Baležentis *et al.* (2016) afirmam que, dos setores econômicos existentes em um país, o setor de transportes é o que mais emite gases de efeito estufa (GEE), sendo o transporte rodoviário o principal emissor e o transporte aéreo e marítimo os que menos contribuem com o total das emissões.

Em termos quantitativos, Fleury (2012) afirma que o transporte rodoviário chega a emitir  $79 \text{ g } CO_2/TKU$ , enquanto que os transportes ferroviário e hidroviário podem emitir, respectivamente,  $12 \text{ g } CO_2/TKU$  e  $9 \text{ g } CO_2/TKU$ , o que torna o transporte rodoviário o mais poluidor nessa comparação. Diante disto, torna-se relevante considerá-la na estrutura do problema, tendo em vista a avaliação do desempenho das rotas (DMU) no aspecto ambiental.

Nesta pesquisa, a Emissão de  $CO_2$  – cuja unidade de medida considerada é em  $Kg \times CO_2/tonelada$  – foi considerada como um resultado indesejado pelos mesmos motivos observados na variável Ocorrência de Acidentes.

#### 6.4.1.3. Tonelada de carga transportada por US\$

A formação de preços no transporte de cargas (frete) considera, além de outros fatores, a estrutura de custos, que tende a se relacionar com as características do serviço de transporte, tais como, distância percorrida, dimensões da carga, valor e densidade da carga transportada, requisitos de manuseio, entre outros (ZIKOPOULOS, 2018).

No que tange ao transporte de grãos, Ripoll (2012) afirma que os custos logísticos do transporte hidroviário são 61% menor que o do transporte rodoviário e 37% menor que o ferroviário, tornando, assim, o transporte de grãos dos EUA mais competitivo em relação ao Brasil.

Dionísio *et al.* (2015) apresentam os custos de frete do agronegócio da soja e milho como um dos quatro gargalos presentes na cadeia de suprimentos. A unidade de medida dessa variável é m em *Unidade Monetária/Tonelada de Carga Transportada*. Diante disto, essa é uma variável que deve ser minimizada e, nesta pesquisa, foi aplicado o cálculo apresentado na Equação 8. Assim, a unidade de medida passou a ser *Tonelada de Carga Transportada/ Unidade Monetária*, tornando-a uma variável a ser maximizado no modelo DEA.

$$E_f = Frete^{-1} \quad \text{Equação 42}$$

Tendo em vista que o dólar americano (US\$) é uma moeda amplamente utilizada no mercado internacional em geral, o valor de conversão adotado foi de R\$ 3,7731 para cada US\$ 1,00. Valor extraído a partir da média da cotação para a venda no mês de junho de 2018 (01/06 – 30/06) (BACEN, 2018).

#### **6.5. Passo 4**

Nesta pesquisa utilizou-se o método de Análise Envoltória de Dados (DEA) BCC, por considerar as escalas de produção no cálculo de eficiência, no auxílio das análises do desempenho das rotas consideradas nos transportes de soja e milho, onde foram considerados vinte e três centroides, todos situados no estado de Mato Grosso/Brasil, que são: Alto Garças, Brasnorte, Campo Novo do Parecis, Campo Verde, Canarana, Diamantino, Gaúcha do Norte, Nova Mutum, Nova Ubiratã, Paranaíta, Porto Alegre do Norte, Primavera do Leste, Querência, Rondonópolis, Rosário Oeste, Santa Rita do Trivelato, São José do Rio Claro, São José do Xingu, Sapezal, Sinop, Sorriso, Tangará da Serra e Tapurah.

A maior parte da produção de soja e milho nos centroides é para a exportação, cujo destinos finais considerados nesta pesquisa são onze portos marítimos brasileiros: Porto de

Barcarena, Porto de Santana, Porto de Imbituba, Porto de Itacoatiara, Porto de Paranaguá, Porto do Rio Grande, Porto de Santarém, Porto de Santos, Porto de São Francisco do Sul, Porto de São Luís e Porto de Vitória. A escolha desses portos foi devido ao elevado volume desse tipo de carga que são embarcados todos os anos.

As alternativas de rotas, utilizadas no transporte da produção da soja e milho dos centroides (origem) até os portos (destino), contou com os modos de transportes rodoviário, ferroviário e hidroviário. Diante disto, foram observadas 11 alternativas de rotas (DMU), onde a composição dos modos de transportes utilizados (intermodalidade) permitiu mais de uma alternativa de rota para um mesmo par origem-destino.

A Tabela 15 apresenta os dados das variáveis do problema, assim como as características das DMUs, os centroides e os respectivos portos marítimos.

**Tabela 16:** Cenário atual com os modos rodoviário, ferroviário e hidroviário

Centroides		Alto Garças	Brasnorte	Campo Novo do Parecis	Campo Verde	Canarana	Diamantino	Gaúcha do Norte	Nova Mutum	Nova Ubiratã	Paranaíta	Porto Alegre do Norte	Primavera do Leste
BARCARENA	Custo	0,012	0,015	0,014	0,013	0,013	0,016	0,014	0,017	0,019	0,021	0,013	0,014
	<i>CO<sub>2</sub></i>	112,228	88,615	84,087	96,754	100,774	76,577	93,872	66,640	61,179	52,661	97,285	91,141
	Custo de Acidente	2,084	2,725	4,091	3,096	3,344	3,715	3,961	3,272	4,599	1,043	3,484	3,089
SANTANA	Custo	0,014	0,017	0,017	0,016	0,015	0,019	0,016	0,022	0,024	0,028	0,016	0,017
	<i>CO<sub>2</sub></i>	106,801	83,188	78,659	91,327	95,347	71,150	88,444	61,213	55,752	47,233	91,858	85,714
	Custo de Acidente	5,341	2,676	4,042	4,514	4,323	3,666	4,706	3,223	4,550	0,995	3,436	4,468
IMBITUBA	Custo	0,013	0,009	0,010	0,012	0,011	0,010	0,010	0,010	0,010	0,008	0,010	0,012
	<i>CO<sub>2</sub></i>	138,888	196,081	186,827	151,328	169,987	182,200	192,288	176,738	190,847	221,947	189,027	149,507
	Custo de Acidente	6,903	9,472	8,890	7,549	8,517	8,113	8,251	8,315	9,153	10,540	9,596	7,002
PARANAGUÁ	Custo	0,017	0,011	0,012	0,015	0,013	0,012	0,012	0,013	0,012	0,010	0,012	0,015
	<i>CO<sub>2</sub></i>	91,156	162,459	150,019	112,244	122,636	133,559	134,241	137,958	155,935	185,518	145,695	109,437
	Custo de Acidente	5,567	4,410	4,137	6,032	7,022	4,602	6,766	4,978	5,649	1,693	7,912	6,064
RIO GRANDE	Custo	0,010	0,008	0,008	0,010	0,009	0,009	0,009	0,009	0,008	0,007	0,008	0,010
	<i>CO<sub>2</sub></i>	153,201	208,119	195,679	167,007	187,715	179,068	182,026	183,391	201,293	230,951	210,774	155,325
	Custo de Acidente	5,567	8,242	7,809	6,149	7,022	7,593	8,065	7,337	7,997	9,452	7,912	6,064
SANTARÉM	Custo	0,011	0,016	0,013	0,012	0,012	0,013	0,012	0,015	0,014	0,024	0,013	0,012
	<i>CO<sub>2</sub></i>	140,154	83,188	112,391	122,480	118,384	104,351	126,576	94,869	121,004	47,233	99,420	121,494

	<b>Custo de Acidente</b>	3,422	2,676	2,105	2,698	2,886	1,754	2,563	1,289	1,034	0,995	2,723	2,435
<b>SANTOS</b>	<b>Custo</b>	0,019	0,012	0,013	0,017	0,015	0,015	0,014	0,014	0,014	0,011	0,013	0,016
	<b>CO<sub>2</sub></b>	40,809	99,754	91,638	58,414	85,583	88,452	79,577	80,108	101,871	116,442	108,566	54,318
	<b>Custo de Acidente</b>	1,430	4,097	3,717	2,163	3,679	3,568	3,153	3,178	4,286	4,877	4,762	1,971
<b>SÃO FRANCISCO DO SUL</b>	<b>Custo</b>	0,015	0,010	0,011	0,014	0,012	0,011	0,011	0,012	0,011	0,009	0,011	0,014
	<b>CO<sub>2</sub></b>	119,014	176,207	166,953	131,454	150,114	162,326	172,415	156,865	170,974	202,073	169,153	129,633
	<b>Custo de Acidente</b>	4,041	7,376	6,794	5,027	5,513	6,024	6,056	6,230	7,071	8,455	6,592	4,896
<b>SÃO LUÍS</b>	<b>Custo</b>	0,009	0,008	0,009	0,009	0,011	0,008	0,011	0,009	0,010	0,011	0,012	0,009
	<b>CO<sub>2</sub></b>	128,612	150,686	136,956	132,405	81,811	138,928	83,404	119,055	103,306	83,053	82,474	120,268
	<b>Custo de Acidente</b>	6,497	9,172	8,739	7,078	7,951	8,523	8,994	8,267	8,927	10,382	8,842	6,993
<b>ITACOATIARA</b>	<b>Custo</b>	0,009	0,011	0,011	0,010	0,009	0,011	0,009	0,010	0,009	0,016	0,008	0,009
	<b>CO<sub>2</sub></b>	183,138	131,026	125,186	165,691	191,861	135,122	181,393	143,163	157,499	72,923	212,265	173,656
	<b>Custo de Acidente</b>	7,692	6,769	6,333	7,007	6,901	6,237	6,663	5,492	5,244	4,257	7,898	7,373
<b>VITÓRIA</b>	<b>Custo</b>	0,012	0,009	0,009	0,011	0,011	0,009	0,010	0,010	0,009	0,008	0,009	0,011
	<b>CO<sub>2</sub></b>	87,541	153,762	145,873	109,084	114,621	142,611	127,820	134,571	149,059	177,028	137,681	112,421
	<b>Custo de Acidente</b>	7,000	1,000	5,000	7,000	3,000	6,000	3,000	4,000	4,000	2,000	3,000	7,000

**Tabela 17:** Continuação do cenário atual com os modos rodoviário, ferroviário e hidroviário

Centroides		Querência	Rondonópolis	Rosário Oeste	Santa Rita do Trivelato	São José do Rio Claro	São José do Xingu	Sapezal	Sinop	Sorriso	Tangará da Serra	Tapurah
BARCARENA	Custo	0,012	0,012	0,015	0,017	0,017	0,014	0,014	0,022	0,020	0,014	0,017
	<i>CO<sub>2</sub></i>	107,298	104,567	81,204	68,385	70,433	89,093	92,279	48,360	54,784	89,396	66,489
	Custo de Acidente	3,841	2,602	3,802	3,445	3,452	3,960	3,115	2,434	2,722	4,213	3,240
SANTANA	Custo	0,014	0,014	0,018	0,021	0,020	0,017	0,016	0,030	0,026	0,017	0,022
	<i>CO<sub>2</sub></i>	101,870	99,140	75,777	62,958	65,006	83,666	86,851	42,932	49,357	83,969	61,061
	Custo de Acidente	3,904	4,823	3,911	3,397	3,404	3,911	3,066	2,385	2,673	4,209	3,191
IMBITUBA	Custo	0,010	0,013	0,011	0,010	0,010	0,010	0,009	0,010	0,010	0,011	0,010
	<i>CO<sub>2</sub></i>	180,910	141,391	166,574	183,944	188,647	182,200	202,756	194,716	188,420	175,146	187,965
	Custo de Acidente	9,007	6,545	7,730	8,720	8,581	9,720	9,273	9,163	8,872	8,358	9,064
PARANAGUÁ	Custo	0,012	0,016	0,014	0,012	0,012	0,012	0,011	0,011	0,012	0,013	0,012
	<i>CO<sub>2</sub></i>	133,179	99,728	124,911	146,605	143,495	148,350	158,211	156,087	149,867	138,717	153,963
	Custo de Acidente	7,352	5,684	5,404	5,379	4,524	7,586	3,069	5,826	5,532	4,417	5,503
RIO GRANDE	Custo	0,008	0,011	0,009	0,009	0,009	0,008	0,008	0,008	0,008	0,009	0,008
	<i>CO<sub>2</sub></i>	198,183	145,540	170,875	192,038	189,080	213,429	203,872	201,520	195,300	184,301	199,396
	Custo de Acidente	7,533	5,684	6,862	7,675	7,895	7,593	8,554	8,178	7,884	7,263	7,863
SANTARÉM	Custo	0,013	0,012	0,014	0,014	0,014	0,010	0,014	0,017	0,016	0,013	0,015
	<i>CO<sub>2</sub></i>	109,433	129,079	109,585	98,586	98,738	180,625	95,021	76,968	83,112	115,957	94,187

	<b>Custo de Acidente</b>	3,191	3,063	1,970	1,371	1,467	2,339	2,488	0,434	0,735	2,354	1,282
<b>SANTOS</b>	<b>Custo</b>	0,014	0,017	0,015	0,014	0,014	0,012	0,013	0,013	0,013	0,014	0,013
	<b>CO<sub>2</sub></b>	92,472	44,457	70,247	87,466	92,245	110,007	106,429	98,389	93,686	78,895	91,335
	<b>Custo de Acidente</b>	3,756	1,510	2,716	3,522	3,745	4,900	4,409	4,033	3,813	3,121	3,703
<b>SÃO FRANCISCO DO SUL</b>	<b>Custo</b>	0,011	0,015	0,012	0,011	0,011	0,011	0,010	0,011	0,011	0,012	0,011
	<b>CO<sub>2</sub></b>	161,037	121,517	146,700	164,071	168,774	162,326	182,883	174,842	168,546	155,272	168,091
	<b>Custo de Acidente</b>	6,006	4,442	5,620	6,634	6,489	6,716	7,177	7,078	6,787	6,265	6,979
<b>SÃO LUÍS</b>	<b>Custo</b>	0,012	0,009	0,008	0,009	0,009	0,012	0,008	0,009	0,009	0,008	0,009
	<b>CO<sub>2</sub></b>	77,335	129,324	147,576	116,552	134,984	84,067	149,169	116,248	111,166	142,114	119,207
	<b>Custo de Acidente</b>	8,462	6,614	7,792	8,604	8,824	8,523	9,484	9,108	8,813	8,193	8,792
<b>ITACOATIARA</b>	<b>Custo</b>	0,009	0,009	0,010	0,010	0,011	0,008	0,013	0,010	0,010	0,011	0,010
	<b>CO<sub>2</sub></b>	193,909	171,987	152,265	151,734	133,454	198,915	102,354	161,292	154,996	131,178	154,389
	<b>Custo de Acidente</b>	7,174	7,177	5,982	5,829	5,882	8,032	6,716	4,655	4,953	6,574	5,527
<b>VITÓRIA</b>	<b>Custo CO<sub>2</sub></b>	0,010	0,011	0,010	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,010	0,009
		125,316	98,464	124,255	141,397	146,328	139,122	160,588	152,548	146,404	132,978	145,797
	<b>Custo de Acidente</b>	3,000	7,000	6,000	4,000	4,000	3,000	5,000	4,000	4,000	6,000	4,000

### 6.5.1. Modelagem matemática

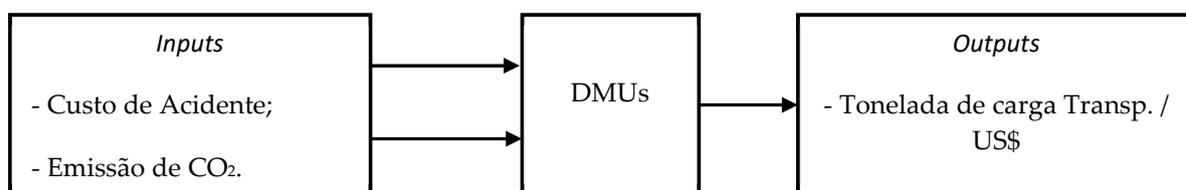
Nesta pesquisa, a variável tempo de deslocamento da carga não foi considerada, pois, segundo Yang & Pollitt (2010) foi realizada uma entrevista com alguns produtores de soja do estado do MT, que afirmaram que o tempo de deslocamento da carga não influenciava no processo de escolha da rota de exportação. Segundo os autores, o tempo variava entre um e dois dias de diferença entre as rotas.

Além disto, o volume de carga transportado não foi considerado no cálculo da eficiência, uma vez que a hidrovia Tapajós-Teles Pires não está disponível para as operações de transportes, mas há um planejamento por parte do governo brasileiro em torná-la operacional (YANG E POLLITT, 2010).

O modelo DEA adotado foi o BCC, por considerar as variações das escalas de produção nos cálculos de eficiência, o que permite identificar a eficiência técnica das rotas de exportação.

A orientação a *input* é mais adequada devido ao objetivo de minimizar as externalidades das rotas de exportação, mantendo o *output*. A Figura 32 (modelo DEA adotado neste estudo) mostra a configuração das variáveis do modelo DEA.

Figura 31: Modelo DEA adotado neste estudo



Fonte: Elaboração própria

Devido às variáveis indesejadas (Custo de Acidente e Emissão de CO<sub>2</sub>) apresentadas nesta pesquisa, adotou-se a abordagem Incorporating Undesirable Output as Input (INP), conforme apresentado por Yang & Pollitt (2010); Sahoo *et al.*, (2011), cujo *output* indesejável é tratado como um *input*.

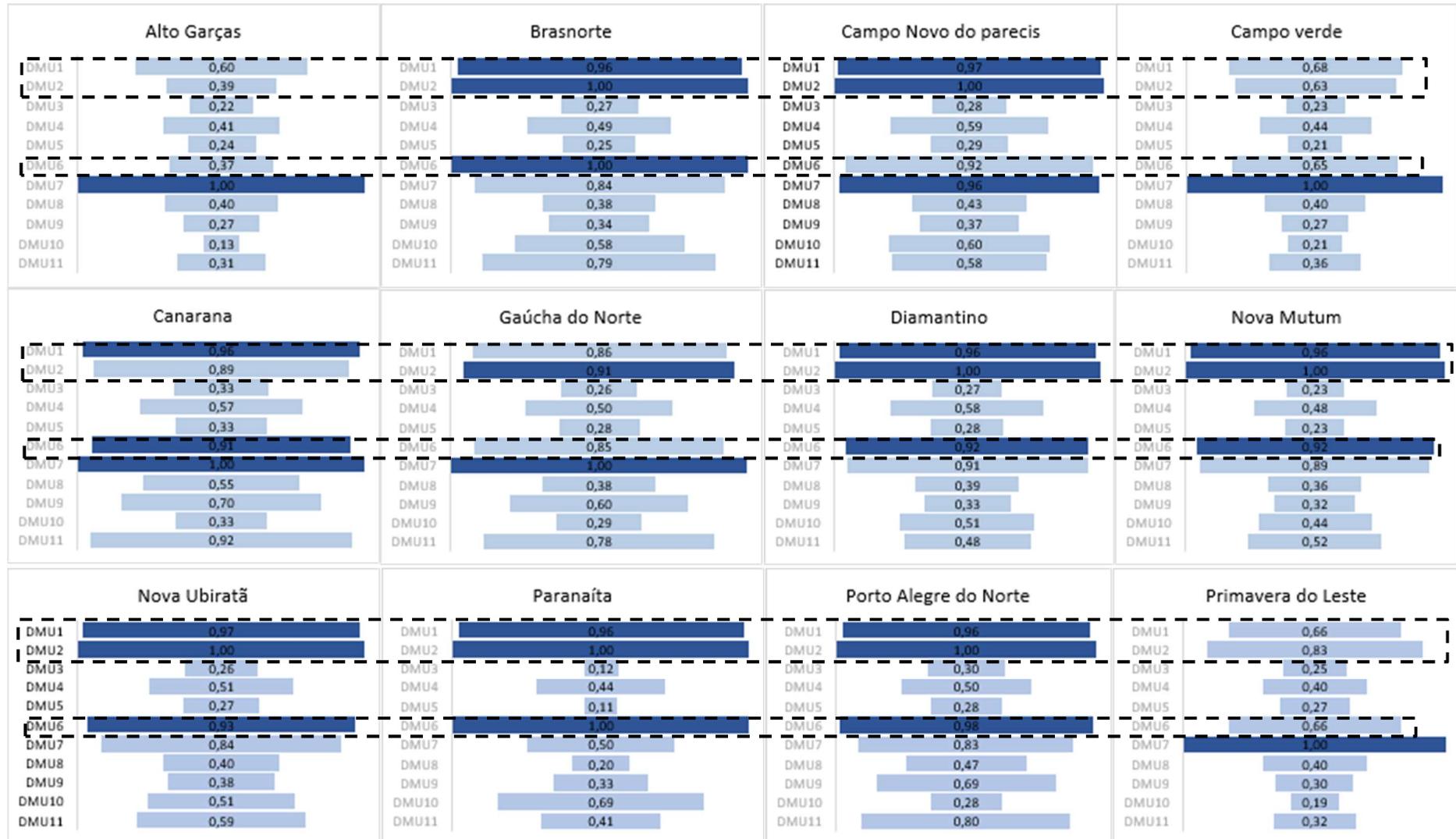
### 6.5.2. Análise dos resultados

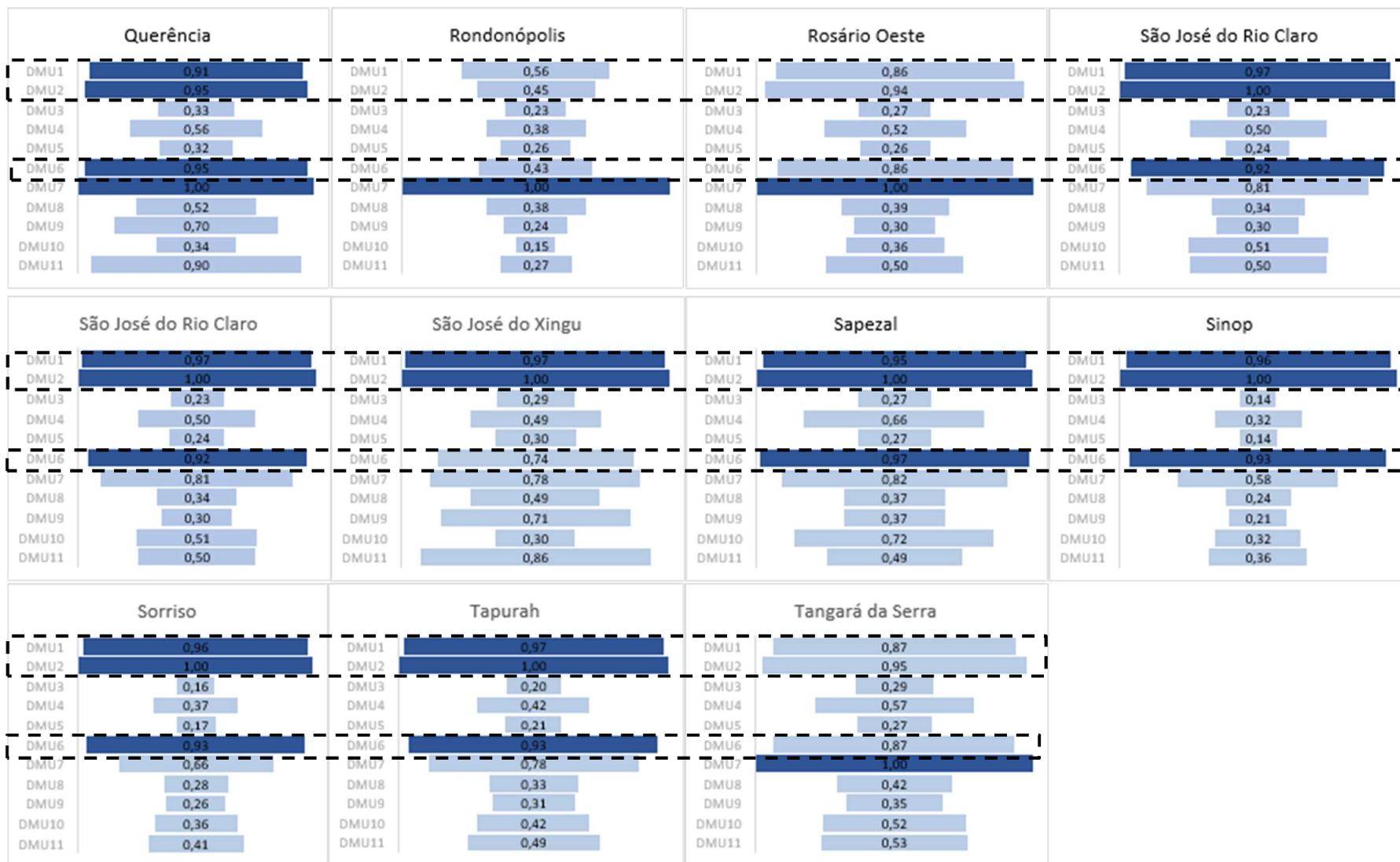
Esta seção apresenta o desempenho das rotas em um contexto geral, utilizando o índice da Composta\*, importante na hierarquização das rotas mais eficientes dentre as 21 rotas da amostra para cada centroide. As DMUs 1, 2 e 6 (Tabela 9), que utilizam a hidrovia

Tapajós, Teles Pires, apresentaram o valor mais elevado no índice da Composta\* e/ou na faixa entre 0,90 e 0,97 em 21 centroides dentre os 23, representando a eficiência dessas rotas. Entretanto, a DMU 7 foi eficiente também em 10 centroides dentre os 23. Essas rotas apresentaram menores valores de  $CO_2$  e custo de acidente entre as rotas, devido à intermodalidade entre os modos de transportes rodoviário e hidroviário e rodoviário e ferroviário respectivamente. Além disto, é possível afirmar que a menor dependência no transporte rodoviário esteja relacionada com o desempenho apresentado nessas rotas, utilizando as menores distâncias com o transporte rodoviário e as maiores distâncias com os transportes ferroviário e hidroviário.

A Figura 33 apresenta os valores dos índices da Composta\* das DMUs para cada centroide, destacando as rotas de exportação que utilizam a hidrovia Tapajós-Teles Pires (DMUs 1, 2 e 6) conforme enfatizado pela linha pontilhada.

Figura 32: Índice da Composta Normalizada da soja





Em uma segunda análise, avaliando apenas as rotas que utilizam a hidrovia Tapajós-Teles Pires (DMU 1, 2 e 6), as DMUs 2 e 6 foram as mais eficientes, representando 78% da quantidade total de centroides e 82% da quantidade total de centroides respectivamente. A DMU 1 que utiliza também a hidrovia Tapajós-Teles Pires, apesar de não apresentar centroides eficientes, se destacou com 70 % da quantidade total de centroides variando de 0.90 a 0.99 de eficiência. Todos os centroides eficientes que utilizam a hidrovia Tapajós-Teles Pires apresentaram cerca de 10% a 30% do trajeto percorrido por rodovia e 70% a 90% do trajeto percorrido por meio da hidrovia na DMU 1, de 5% a 30% do trajeto percorrido por rodovia e 70% a 95% do trajeto percorrido por meio da hidrovia na DMU 2 e de 20% a 40% do trajeto percorrido por rodovia e 60% a 80% do trajeto percorrido por meio da hidrovia na DMU 6, conforme observado na Tabela 16. Diante disto, é possível afirmar que o transporte rodoviário serviu como apoio ao transporte hidroviário, de maior capacidade operacional. A influência da intermodalidade no desempenho das rotas também foi observado nos trabalhos de Flodén & Williamsson (2016) e Wiśnicki & Dyrda (2016).

Em uma primeira análise, as rotas potenciais, que utilizam a hidrovia Tapajós-Teles Pires, se destacaram possuindo os maiores índices de eficiência em 18 centroides, demonstrando um primeiro indício de viabilidade e confirmando a continuidade nas análises.

**Tabela 18:** Eficiência Padrão ds DMUs 1, 2 e 6 que utilizam a hidrovía Tapajós-Teles Pires

DMU	DMU1	DMU2	DMU3	DMU4	DMU5	DMU6	DMU7	DMU8	DMU9	DMU10	DMU11
	Rodoviário- Hidroviário (Tapajós-Teles Pires)	Rodoviário- Hidroviário (Tapajós-Teles Pires)	Rodoviário	Rodoviário - Ferroviário	Rodoviário - Ferroviário	Rodoviário- Hidroviário (Tapajós-Teles Pires)	Ferroviário	Rodoviário	Rodoviário - Ferroviário	Rodoviário- Hidroviário (Rio Madeira)	Rodoviário - Ferroviário
Alto Garças	69%	38%	29%	45%	27%	42%	100%	35%	32%	22%	47%
Brasnorte	96%	100%	42%	56%	40%	100%	83%	47%	55%	63%	100%
Campo Novo do Parecis	96%	100%	44%	67%	45%	100%	95%	52%	57%	63%	64%
Campo verde	70%	64%	39%	52%	35%	80%	100%	44%	44%	35%	54%
Canarana	99%	90%	50%	69%	50%	100%	100%	63%	100%	50%	100%
Diamantino	96%	100%	42%	63%	43%	100%	90%	51%	51%	55%	55%
Gaúcha do Norte	85%	100%	41%	59%	44%	100%	100%	51%	95%	46%	90%
Nova Mutum	95%	100%	36%	52%	38%	100%	87%	44%	51%	49%	57%
Nova Uiratã	96%	100%	39%	54%	40%	100%	77%	46%	54%	55%	63%
Paranaíta	95%	100%	21%	59%	20%	100%	41%	23%	57%	65%	50%
Porto Alegre do Norte	96%	100%	48%	61%	44%	100%	84%	54%	100%	43%	91%
Primavera do Leste	64%	100%	36%	50%	35%	81%	100%	42%	45%	31%	48%
Querência	92%	96%	50%	67%	48%	100%	100%	60%	100%	50%	100%
Rondonópolis	58%	45%	31%	45%	31%	49%	100%	37%	34%	26%	45%
Rosário Oeste	87%	100%	42%	56%	41%	100%	100%	48%	48%	46%	57%
Santa Rita do Trivelato	95%	100%	36%	51%	38%	100%	82%	44%	54%	48%	58%
São José do Rio Claro	95%	100%	37%	56%	38%	100%	79%	44%	48%	53%	58%
São José do Xingu	97%	100%	46%	56%	48%	100%	79%	56%	100%	47%	100%
Sapezal	96%	100%	43%	81%	43%	100%	82%	47%	58%	85%	56%
Sinop	93%	100%	24%	33%	25%	100%	50%	28%	37%	35%	38%
Sorriso	94%	100%	28%	39%	29%	100%	60%	33%	44%	40%	44%
Tangará da Serra	88%	100%	45%	65%	43%	100%	100%	51%	56%	60%	59%
Tapurah	95%	100%	34%	47%	35%	100%	75%	40%	51%	47%	54%

Fonte: Elaboração própria

## **6.6. Passo 5**

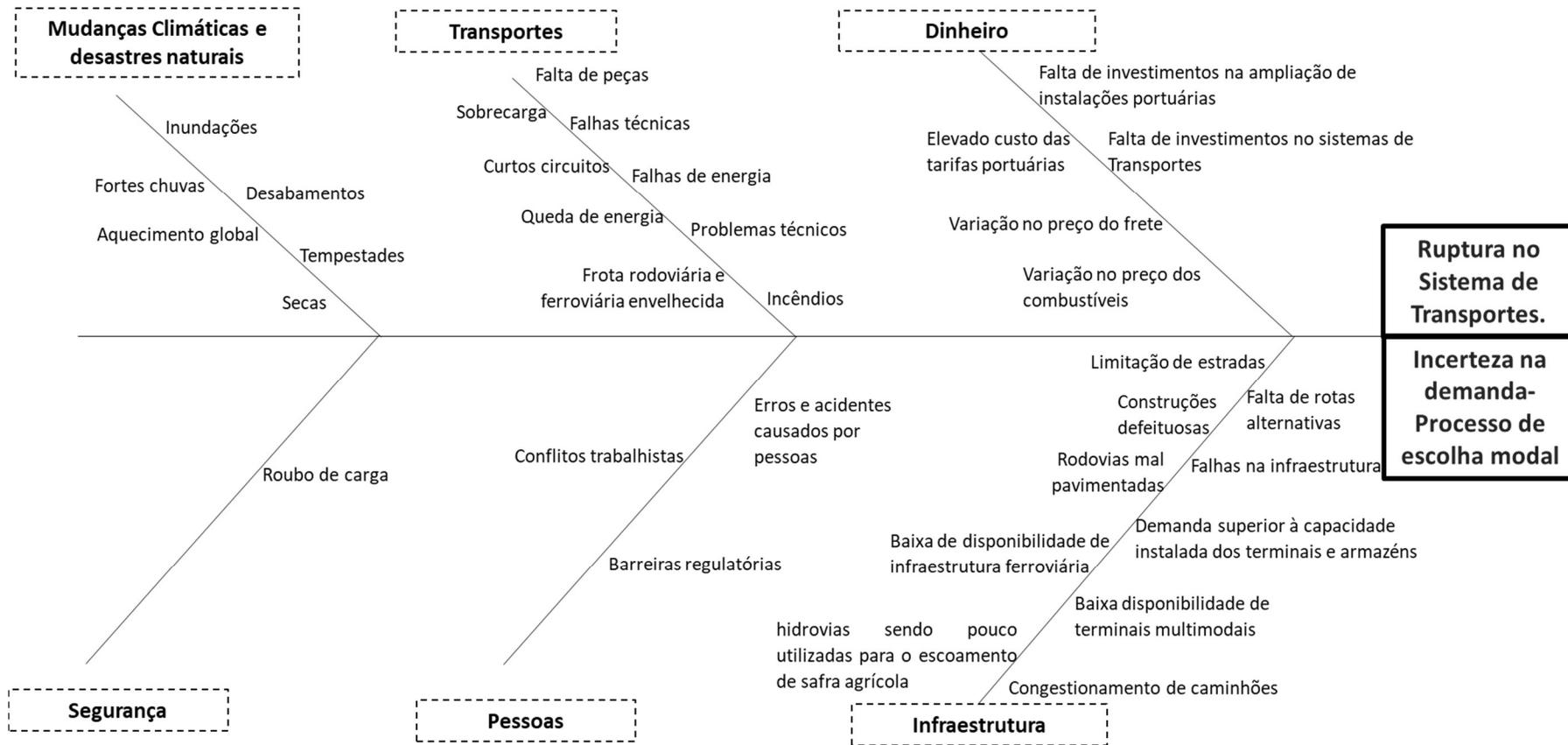
Neste passo foi realizado um levantamento bibliográfico dos possíveis perigos ou ameaças que podem ocasionar consequências indesejáveis em uma rede de transportes. Esses perigos ou ameaças vão desde condições meteorológicas adversas a obras rodoviárias mal planejadas, bem como danos intencionais decorrentes de conflitos nas relações de trabalho ou ações terroristas e outros tipos de falhas e atrasos que podem se desenvolver, causando consequências econômicas e sociais significativas.

Conforme a Tabela 11, existem diferentes tipos de ameaças, tais como: ameaças internas e externas, intencionais e não intencionais. As ameaças internas podem ter origem em erros e acidentes causados por funcionários ou usuários, falhas técnicas, componentes que quebram, construções defeituosas, sobrecarga, entre outras. Elas também podem ser intencionais, como conflitos no mercado de trabalho. As ameaças externas podem estar relacionadas a fenômenos naturais, incluindo vários graus de clima adverso e desastres naturais: chuvas fortes, nevascas, tempestades, furacões, tornados, inundações, incêndios florestais, deslizamentos de terra, tsunamis, erupções vulcânicas, terremotos, entre outras. Uma ameaça específica a longo prazo entre o interno e o externo é o aquecimento global, que é parcialmente uma consequência de atividades humanas no setor de transporte (KOETSE & RIETVELD, 2009; NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2006). As ameaças externas também incluem ações antagônicas que vão desde brincadeiras, sabotagem, ações terroristas até atos de guerra (BELL, 2000; BELL *et al.*, 2008; CHEN *et al.*, 2007).

## **6.7. Passo 6**

Após o levantamento geral das ameaças, foi realizado também um levantamento das ameaças que ocorreram no local do estudo que gerou uma classificação mais específica das ameaças que podem causar a ruptura no sistema de transportes e a incerteza da demanda do estado de Mato Grosso. Então, foi realizado um diagrama de Ishikawa para destacar essas principais causas, conforme a Figura 34.

**Figura 33:** Ameaças que podem causar a ruptura e a incerteza da demanda no sistema de transportes de Mato Grosso

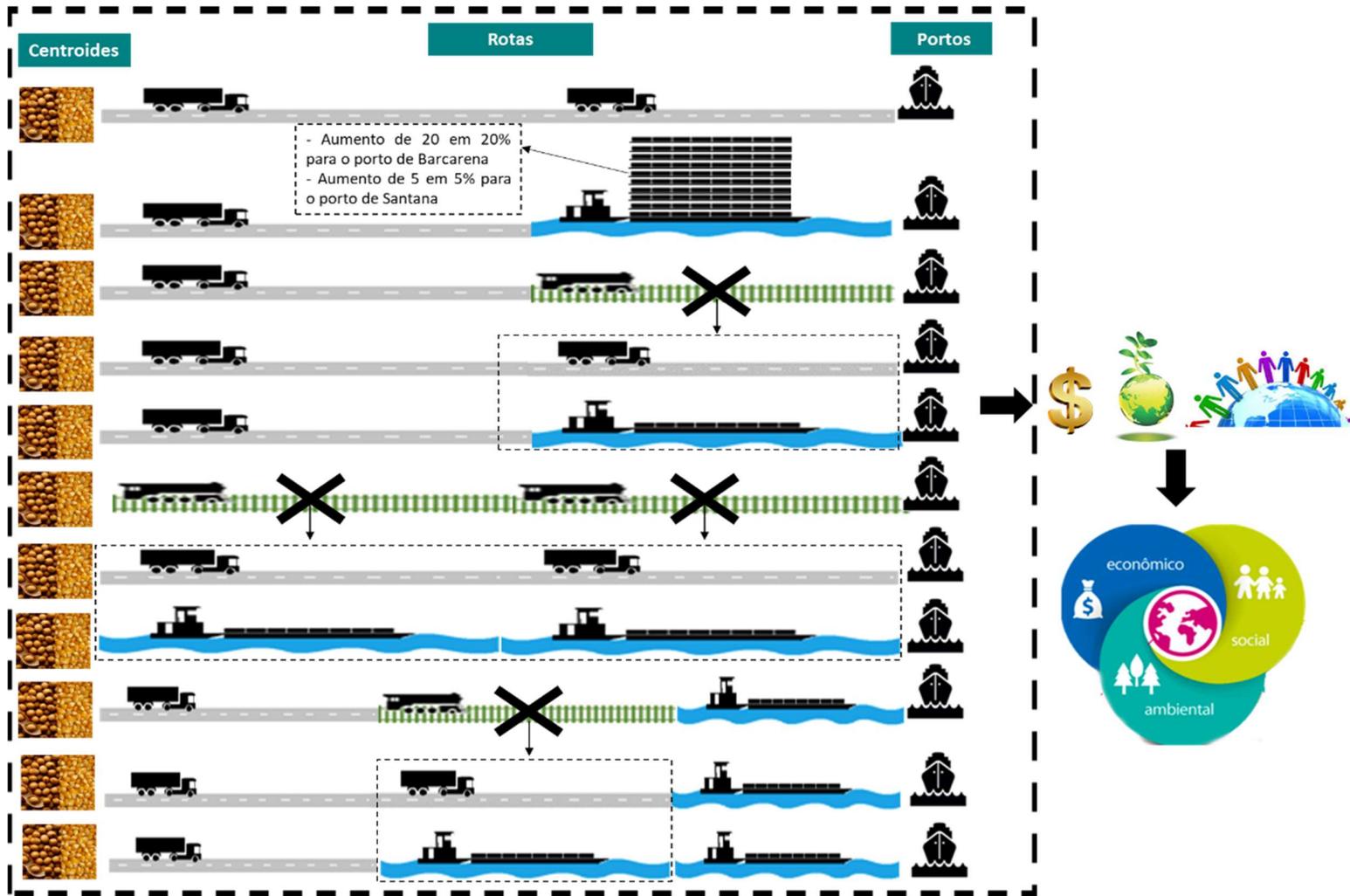


Fonte: Elaboração própria

### **6.8. Passo 7**

Neste item foram realizadas quatro etapas. A primeira etapa foi tratada configuração do sistema de transportes sem ameaça. A segunda etapa foi a criação de cenários com ameaça. A terceira etapa foi a definição dos indicadores para analisar a resiliência. E a quarta etapa foi o cálculo dos indicadores. Essas etapas estão representadas na Figura 35.

Figura 34: Aplicação da Resiliência



Fonte: Elaboração própria

A configuração do sistema de transportes sem ameaça, que corresponde à primeira etapa, é a situação atual do sistema de transportes do estado de Mato Grosso com origens, destinos, modos de transportes e rotas atuais e potenciais, conforme mencionado na etapa 1 desse procedimento. Como pode ser observado na Figura 35, os tipos de modos de transportes do estado do Mato Grosso são: rodoviário, rodoviário-hidroviário, rodoviário-ferroviário, ferroviário, rodoviário-ferroviário-hidroviário.

Na segunda etapa foi realizada a criação de cenários com ameaça. Foram determinados dois tipos de cenários caso ocorresse uma ameaça: um relacionado com a ruptura do transporte ferroviário e o outro relacionado com a incerteza da demanda na hidrovía Tapajós -Teles Pires. No que diz respeito à ruptura do transporte ferroviário, foram identificados três cenários de alternativas de transportes: Cenário 0 (situação atual), Cenário 1 (substituição do ferroviário pelo rodoviário) e Cenário 2 (substituição do ferroviário pelo hidroviário), como detalhado na Figura 35. O desenho do X destacado nessa figura, representa a substituição do transporte ferroviário pelo rodoviário e pelo hidroviário e na Figura 36, os modos de transportes substituídos no Cenário 1 e no Cenário 2 foram destacados em cinza.

Quanto à incerteza da demanda na hidrovía Tapajós -Teles Pires, foram identificados cinco cenários de fluxos de carga: o Cenário 0 é a situação atual, conforme detalhado na Tabela 8 (Matriz em percentual da exportação de soja e de Milho no estado de Mato Grosso) representando 16% para soja e 11% para o milho de utilização da hidrovía Tapajó-Teles Pires; O Cenário 1 é o Cenário 0 acrescido de 20% para o porto de Barcarena e acrescido 5% para o porto de Santana, representando 21% para soja e para o milho de utilização da hidrovía Tapajó-Teles Pires. O Cenário 2 é o Cenário 0 acrescido de 40% para o porto de Barcarena e acrescido 10% para o porto de Santana, representando 35% para soja e para o milho de utilização da hidrovía Tapajó-Teles Pires. O Cenário 3 é o Cenário 0 acrescido de 60% para o porto de Barcarena e acrescido 15% para o porto de Santana, representando 47% para soja e 49% para o milho de utilização da hidrovía Tapajó-Teles Pires. E o Cenário 4 é o Cenário 0 acrescido de 80% para o porto de Barcarena e acrescido 20% para o porto de Sanatana representando 59% para soja e 63% para o milho de utilização da hidrovía Tapajó-Teles Pires, totalizando um somatório de 100% do fluxo de carga nos dois portos que usam a hidrovía Tapajós-Teles Pires, conforme detalhado na Figura 37. A Tabela 17 detalha esses

cenários do fluxo de carga de soja e a Tabela 19 detalha esses cenários do fluxo de carga de milho.

**Figura 35:** Cenários das Alternativas de Transportes

DMU	Cenário 0 (Atual)		Cenário 1		Cenário 2		Portos Marítimos
	Centroide 1 Centroide 2 ... Centroide 23						
1	Rodoviário-Hidroviário (Tapajós e Rio Amazonas)		Rodoviário-Hidroviário (Tapajós e Rio Amazonas)		Rodoviário-Hidroviário (Tapajós e Rio Amazonas)		Porto 1
	Rodoviário-Hidroviário (Rio Amazonas)		Rodoviário-Hidroviário (Rio Amazonas)		Rodoviário-Hidroviário (Rio Amazonas)		
	Rodoviário-Hidroviário (Rio Madeira e Amazonas)		Rodoviário-Hidroviário (Rio Madeira e Amazonas)		Rodoviário-Hidroviário (Rio Madeira e Amazonas)		
	Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles Pires)		Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles Pires)		Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles Pires)		
	Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles Pires)		Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles Pires)		Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles Pires)		
2	Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles Pires)		Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles Pires)		Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles Pires)		Porto 2
	Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles pires)		Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles pires)		Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles pires)		
3	Rodoviário		Rodoviário		Rodoviário		Porto 3
4	Rodoviário		Rodoviário		Rodoviário		Porto 4
	Rodoviário-Ferrovário		Rodoviário		Rodoviário-Hidroviário		
5	Rodoviário-Ferrovário		Rodoviário		Rodoviário-Hidroviário		Porto 5
6	Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles Pires)		Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles Pires)		Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles Pires)		Porto 6
	Rodoviário-Hidroviário		Rodoviário-Hidroviário		Rodoviário-Hidroviário		
7	Rodoviário		Rodoviário		Rodoviário		Porto 7
	Rodoviário-Ferrovário	Ferrovário	Rodoviário	Rodoviário	Rodoviário-Hidroviário	Hidroviário	
	Rodoviário-Ferrovário		Rodoviário		Rodoviário-Hidroviário		
	Rodoviário-Hidroviário (Tietê Paraná)-Ferrovário		Rodoviário-Hidroviário		Rodoviário-Hidroviário		
8	Rodoviário		Rodoviário		Rodoviário		Porto 8
9	Rodoviário-Ferrovário		Rodoviário		Rodoviário-Hidroviário		Porto 9
10	Rodoviário-Hidroviário (Rio Madeira)		Rodoviário-Hidroviário (Rio Madeira)		Rodoviário-Hidroviário (Rio Madeira)		Porto 10
11	Rodoviário-Ferrovário		Rodoviário		Rodoviário-Hidroviário		Porto 11

Fonte: Elaboração própria

**Figura 36:** Detalhamento dos cenários dos fluxos de carga

Cenários dos Fluxos de Carga	
Cenário 0-Atual	Utilização de 16% para soja e 11% para o milho da hidrovia Tapajós-Teles Pires
Cenário 1	Aumento de 20% do Fluxo da Carga para Barcarena e aumento de 5% do fluxo da carga para Santana.
	Utilização de 21% para soja e para o milho da hidrovia Tapajós-Teles Pires
Cenário 2	Aumento de 40% do Fluxo da Carga para Barcarena e aumento de 10% do fluxo da carga para Santana.
	Utilização de 35% para soja e para o milho da hidrovia Tapajós-Teles Pires
Cenário 3	Aumento de 60% do Fluxo da Carga para Barcarena e aumento de 15% do fluxo da carga para Santana.
	Utilização de 47% para soja e 49% para o milho da hidrovia Tapajós-Teles Pires
Cenário 4	Aumento de 80% do Fluxo da Carga para Barcarena e aumento de 20% do fluxo da carga para Santana.
	Utilização de 59% para soja e 63% para o milho da hidrovia Tapajós-Teles Pires

**Fonte:** Elaboração própria

Foram realizadas também análises para cada rota, identificando qual é o percentual mais adequado em relação à restrição de calado e de capacidade de embarcações para atender à hidrovia em estudo. Nesses casos, foi considerado um maior fluxo de carga para o porto de Barcarena (80%) e para o porto de Santana foi estimado em 20% do total destinado para Barcarena. O detalhamento das descrições de cada rota está nas Tabelas 18 e 20, sendo uma explicação da premissa adotada neste trabalho para todos os cenários.

**Tabela 19:** Variação do percentual do fluxo de carga de soja

Centroides		Alto Garças	Brasnorte	Campo Novo do Parecis	Campo Verde	Canarana	Diamantino	Gaúcha do Norte	Nova Mutum	Nova Ubiratã	Paranaíta
BARCARENA	C0	-	-	-	-	15%	-	-	-	-	100%
	C1	-	20%	20%	-	15%	20%	20%	20%	20%	100%
	C2	-	40%	40%	-	15%	40%	40%	40%	40%	100%
	C3	-	60%	60%	-	15%	40%	60%	56%	56%	100%
	C4	-	80%	80%	-	15%	40%	80%	56%	56%	100%
SANTANA	C0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C1	-	5%	5%	-	-	5%	5%	5%	5%	-
	C2	-	10%	10%	-	-	10%	10%	10%	10%	-
	C3	-	15%	15%	-	-	10%	15%	14%	14%	-
	C4	-	20%	20%	-	-	10%	20%	14%	14%	-
IMBITUBA	C0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PORTO DE PARANAGUÁ	C0	-	-	-	-	-	-	-	27%	-	-
	C1	-	-	-	-	-	-	-	27%	-	-
	C2	-	-	-	-	-	-	-	27%	-	-
	C3	-	-	-	-	-	-	-	2%	-	-
	C4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PORTO DE RIO GRANDE		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SANTAREM	C0	-	-	-	-	-	1%	-	-	26%	-
	C1	-	-	-	-	-	1%	-	-	26%	-
	C2	-	-	-	-	-	1%	-	-	26%	-
	C3	-	-	-	-	-	1%	-	-	26%	-
	C4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SANTOS	C0	-	5%	1%	96%	59%	92%	-	70%	74%	-
	C1	-	5%	1%	96%	59%	67%	-	45%	49%	-
	C2	-	5%	1%	96%	59%	42%	-	20%	24%	-
	C3	-	5%	1%	96%	59%	42%	-	25%	4%	-
	C4	-	0%	0%	96%	59%	42%	-	30%	30%	-
SÃO FRANCISCO DO SUL		-	-	-	4%	1%	8%	-	-	-	-
SÃO LUIS - PORTO	C0	-	-	17%	-	13%	-	-	-	-	-
	C1	-	-	17%	-	13%	-	-	-	-	-
	C2	-	-	17%	-	13%	-	-	-	-	-
	C3	-	-	17%	-	13%	-	-	-	-	-
	C4	-	-	-	-	13%	-	-	-	-	-
ITACOATIARA	C0	-	95%	82%	-	-	-	-	3%	-	-
	C1	-	70%	57%	-	-	-	-	3%	-	-
	C2	-	45%	32%	-	-	-	-	3%	-	-
	C3	-	20%	7%	-	-	-	-	3%	-	-
	C4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VITÓRIA - PORTO	C0	100%	-	-	-	12%	-	100%	-	-	-
	C1	100%	-	-	-	12%	-	75%	-	-	-
	C2	100%	-	-	-	12%	-	50%	-	-	-
	C3	100%	-	-	-	12%	-	25%	-	-	-
	C4	100%	-	-	-	12%	-	0%	-	-	-

**Tabela 17:** Continuação da variação do percentual do fluxo de carga de soja

Centroides		Porto Alegre do Norte	Primavera do Leste	Querência	Rondonópolis	Rosário Oeste	Santa Rita do Trivelato	São José do Rio Claro	São José do Xingu	Sapezal	Sinop	Sorriso	Tangará da Serra	Tapurah
BARCARENA	C0	-	-	-	-	-	-	-	-	30%	44%	3%	-	28%
	C1	20%	-	-	-	-	20%	20%	20%	20%	64%	23%	-	48%
	C2	40%	-	-	-	-	40%	40%	40%	30%	80%	43%	-	56%
	C3	60%	-	-	-	-	48%	60%	60%	30%	80%	63%	-	56%
	C4	80%	-	-	-	-	48%	72%	80%	30%	80%	80%	-	56%
SANTANA	C0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C1	5%	-	-	-	-	5%	5%	5%	-	5%	5%	-	5%
	C2	10%	-	-	-	-	10%	10%	10%	-	14%	10%	-	14%
	C3	15%	-	-	-	-	12%	15%	15%	-	20%	15%	-	14%
	C4	20%	-	-	-	-	12%	18%	20%	-	20%	20%	-	14%
IMBITUBA	C0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30%	11%	-	-
	C1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5%	11%	-	-
	C2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5%	11%	-	-
	C3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6%	-	-
	C4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PORTO DE PARANAGUÁ	C0	-	1%	-	1%	9%	-	60%	-	-	1%	3%	-	-
	C1	-	1%	-	1%	9%	-	45%	-	-	1%	3%	-	-
	C2	-	1%	-	1%	9%	-	20%	-	-	1%	3%	-	-
	C3	-	1%	-	1%	9%	-	0%	-	-	-	3%	-	-
	C4	-	1%	-	1%	9%	-	0%	-	-	-	-	-	-
PORTO DE RIO GRANDE		-	-	-	18%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SANTAREM	C0	-	-	-	-	-	-	-	-	43%	25%	4%	5%	-
	C1	-	-	-	-	-	-	-	-	43%	25%	4%	5%	-
	C2	-	-	-	-	-	-	-	-	43%	-	4%	5%	-
	C3	-	-	-	-	-	-	-	-	43%	-	4%	5%	-
	C4	-	-	-	-	-	-	-	-	43%	-	-	5%	-
SANTOS	C0	-	86%	37%	47%	91%	100%	29%	-	-	-	57%	81%	72%
	C1	-	86%	37%	47%	91%	75%	19%	-	-	-	32%	81%	47%
	C2	-	86%	37%	47%	91%	50%	19%	-	-	-	7%	81%	30%
	C3	-	86%	37%	47%	91%	40%	14%	-	-	-	7%	81%	30%
	C4	-	86%	37%	47%	91%	40%	10%	-	-	-	-	81%	30%
SÃO FRANCISCO DO SUL		-	1%	-	21%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SÃO LUIS	C0	100%	12%	61%	-	-	-	-	100%	-	-	-	-	-
	C1	75%	12%	61%	-	-	-	-	75%	-	-	-	-	-
	C2	50%	12%	61%	-	-	-	-	50%	-	-	-	-	-
	C3	25%	12%	61%	-	-	-	-	25%	-	-	-	-	-
	C4	0%	12%	61%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ITACOATIARA	C0	-	-	-	12%	-	-	11%	-	27%	-	-	14%	-
	C1	-	-	-	12%	-	-	11%	-	27%	-	-	14%	-
	C2	-	-	-	12%	-	-	11%	-	27%	-	-	14%	-
	C3	-	-	-	12%	-	-	11%	-	27%	-	-	14%	-
	C4	-	-	-	12%	-	-	0%	-	27%	-	-	14%	-
VITÓRIA	C0	-	1%	2%	3%	-	-	-	-	-	-	22%	-	0%
	C1	-	1%	2%	3%	-	-	-	-	-	-	22%	-	-
	C2	-	1%	2%	3%	-	-	-	-	-	-	22%	-	-
	C3	-	1%	2%	3%	-	-	-	-	-	-	2%	-	-
	C4	-	1%	2%	3%	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaboração própria

**Tabela 20:** Explicação dos Percentuais dos fluxos de carga da soja

<b>Alto Garças</b>	Não foi modificada a distribuição, uma vez que o custo logístico para o porto de Barcarena não é a melhor opção.
<b>Brasnorte</b>	Para esse centroide, a opção de Barcarena e Santana são as melhores opções. Com isso, todo o fluxo foi considerado para Barcarena e Santana na configuração futura. Para esse centroide, a opção do porto de Santos já possui um percentual muito pequeno.
<b>Campo Novo do Parecis</b>	Para esse centroide, a opção de Barcarena e Santana são as melhores opções. Com isso, todo o fluxo foi considerado para Barcarena e Santana na configuração futura. Para esse centroide, a opção do porto de Santos já possui um percentual muito pequeno.
<b>Campo Verde</b>	Não foi modificada a distribuição, uma vez que o custo logístico para o porto de Barcarena não é a melhor opção.
<b>Canarana</b>	Não foi modificada a distribuição, uma vez que o custo logístico para o porto de Barcarena não é a melhor opção.
<b>Diamantino</b>	Embora a opção de Barcarena seja a melhor opção, o custo é próximo ao de Santos. Com isso, foi considerada uma divisão de demanda entre os portos (50% para Barcarena e Santana e os outros 50% para Santos).
<b>Gaúcha do Norte</b>	Para esse centroide, a opção de Barcarena e Santana são as melhores opções. Com isso, todo o fluxo foi considerado para Barcarena e Santana na configuração futura.
<b>Nova Mutum</b>	Para esse centroide, a opção de Barcarena e Santana são as melhores opções, porém, Santos hoje absorve 70% da carga. Com isso, foi considerado ainda um resíduo de 30% para Santos na configuração futura.
<b>Nova Ubiratã</b>	Para esse centroide, a opção de Barcarena e Santana são as melhores opções, porém, Santos hoje absorve 74% da carga. Com isso, foi considerado ainda um resíduo de 30% para Santos na configuração futura.
<b>Paranaíta</b>	Além da opção dos portos de Barcarena e Santana serem as melhores opções, 100% da carga já está indo para Barcarena.
<b>Porto Alegre do Norte</b>	Para esse centroide, a opção de Barcarena e Santana são as melhores opções. Com isso, todo o fluxo foi considerado para Barcarena e Santana na configuração futura.
<b>Primavera do Leste</b>	Não foi modificada a distribuição, uma vez que o custo logístico para o porto de Barcarena não é a melhor opção.
<b>Querência</b>	Não foi modificada a distribuição, uma vez que o custo logístico para o porto de Barcarena não é a melhor opção.
<b>Rondonópolis</b>	Não foi modificada a distribuição, uma vez que o custo logístico para o porto de Barcarena não é a melhor opção.
<b>Rosário Oeste</b>	Não foi modificada a distribuição, uma vez que o custo logístico para o porto de Barcarena não é a melhor opção.
<b>Santa Rita do Trivelato</b>	Para esse centroide, a opção de Barcarena e Santana são as melhores opções, porém, Santos hoje absorve 100% da carga. Com isso, foi considerado ainda um resíduo de 40% para Santos na configuração futura.
<b>São José do Rio Claro</b>	Para esse centroide, a opção de Barcarena e Santana são as melhores opções, porém, Santos hoje absorve 29% da carga. Com isso, foi considerado ainda um resíduo de 10% para Santos na configuração futura.
<b>São José do Xingu</b>	Para esse centroide, a opção de Barcarena e Santana são as melhores opções. Com isso, todo o fluxo foi considerado para Barcarena e Santana na configuração futura.
<b>Sapezal</b>	Não foi modificada a distribuição, uma vez que o custo logístico para o porto de Barcarena não é a melhor opção.
<b>Sinop</b>	A economia no custo logístico é muito grande com a viabilização técnica da hidrovia, logo foi considerado todo o fluxo para Barcarena e Santana
<b>Sorriso</b>	A economia no custo logístico é muito grande com a viabilização técnica da hidrovia, logo foi considerado todo o fluxo para Barcarena e Santana
<b>Tangará da Serra</b>	Não foi modificada a distribuição, uma vez que o custo logístico para o porto de Barcarena não é a melhor opção.
<b>Tapurah</b>	Para esse centroide, a opção de Barcarena e Santana são as melhores opções, porém, Santos hoje absorve 72,37% da carga. Com isso, foi considerado ainda um resíduo de 30% para Santos na configuração futura.

**Fonte:** Elaboração própria

Tabela 21: Variação do percentual do fluxo de carga do milho

Centroide		Alto Garças	Brasorte	Campo Novo do Parecis	Campo Verde	Canarana	Diamantino	Gaúcha do Norte	Nova Mutum	Nova Ubiratã	Paranaíba
BARCARENA	C0	-	-	-	-	-	-	-	0%	35%	70%
	C1	-	20%	20%	-	-	20%	-	20%	35%	70%
	C2	-	40%	40%	-	-	40%	-	40%	40%	70%
	C3	-	60%	60%	-	-	40%	-	56%	56%	70%
	C4	-	80%	80%	-	-	40%	-	56%	56%	80%
SANTANA	C0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C1	-	5%	5%	-	-	5%	-	5%	10%	-
	C2	-	10%	10%	-	-	10%	-	10%	10%	-
	C3	-	15%	15%	-	-	10%	-	14%	14%	-
	C4	-	20%	20%	-	-	10%	-	14%	14%	20%
IMBITUBA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PORTO DE PARANAGUÁ	C0	2%	-	18%	30%	-	-	-	-	3%	-
	C1	2%	-	18%	30%	-	-	-	-	3%	-
	C2	2%	-	13%	30%	-	-	-	-	3%	-
	C3	2%	-	13%	30%	-	-	-	-	3%	-
	C4	0%	-	-	30%	-	-	-	-	-	-
PORTO DE RIO GRANDE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SANTAREM	C0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16%
	C1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16%
	C2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16%
	C3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16%
	C4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SANTOS	C0	6%	-	82%	70%	7%	91%	-	100%	35%	4%
	C1	6%	-	57%	70%	7%	66%	-	75%	25%	4%
	C2	6%	-	37%	70%	7%	41%	-	50%	20%	4%
	C3	6%	-	12%	70%	7%	41%	-	30%	20%	4%
	C4	-	-	-	70%	7%	50%	-	30%	30%	-
SÃO FRANCISCO DO SUL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SÃO LUIS - PORTO	-	-	-	-	-	57%	-	-	-	-	-
TACOATIARA	C0	-	100%	-	-	-	-	-	-	-	10%
	C1	-	75%	-	-	-	-	-	-	-	10%
	C2	-	50%	-	-	-	-	-	-	-	10%
	C3	-	25%	-	-	-	-	-	-	-	10%
	C4	-	0%	-	-	-	-	-	-	-	-
VITÓRIA - PORTO	C0	92%	-	-	-	36%	-	-	-	28%	-
	C1	92%	-	-	-	36%	-	-	-	28%	-
	C2	92%	-	-	-	36%	-	-	-	28%	-
	C3	92%	-	-	-	36%	-	-	-	8%	-
	C4	92%	-	-	-	36%	-	-	-	-	-

**Tabela 19:** Continuação da variação do percentual do fluxo de carga do milho

Centroide		Porto Alegre do Norte	Primavera do Leste	Querência	Rondonópolis	Rosário Oeste	Santa Rita do Trivelato	São José do Rio Claro	São José do Xingu	Sapezal	Sinop	Sorriso	Tangará da Serra	Tapurah
BARCARENA	C0	-	-	34%	-	-	-	-	-	-	55%	7%	-	-
	C1	-	-	34%	-	-	20%	-	-	-	55%	20%	-	20%
	C2	-	-	34%	-	-	40%	40%	-	-	55%	40%	-	40%
	C3	-	-	34%	-	-	48%	60%	-	-	60%	60%	-	56%
	C4	-	-	34%	-	-	48%	72%	-	-	80%	80%	-	56%
SANTANA	C0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C1	-	-	-	-	-	5%	0%	-	-	0%	5%	-	5%
	C2	-	-	-	-	-	10%	10%	-	-	0%	10%	-	10%
	C3	-	-	-	-	-	12%	15%	-	-	15%	15%	-	14%
	C4	-	-	-	-	-	12%	18%	-	-	20%	20%	-	14%
IMBITUBA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PORTO DE PARANAGUÁ	C0	-	-	-	13%	-	-	-	-	-	-	1%	17%	-
	C1	-	-	-	13%	-	-	-	-	-	-	1%	17%	-
	C2	-	-	-	13%	-	-	-	-	-	-	1%	17%	-
	C3	-	-	-	13%	-	-	-	-	-	-	1%	17%	-
	C4	-	-	-	13%	-	-	-	-	-	-	-	17%	-
PORTO DE RIO GRANDE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SANTAREM	C0	-	-	-	-	-	-	-	-	23%	11%	1%	38%	-
	C1	-	-	-	-	-	-	-	-	23%	11%	1%	38%	-
	C2	-	-	-	-	-	-	-	-	23%	11%	1%	38%	-
	C3	-	-	-	-	-	-	-	-	23%	11%	1%	38%	-
	C4	-	-	-	-	-	-	-	-	23%	0%	0%	38%	-
SANTOS	C0	-	80%	0%	62%	100%	100%	100%	-	60%	34%	70%	45%	100%
	C1	-	80%	0%	62%	100%	75%	100%	-	60%	34%	52%	45%	75%
	C2	-	80%	0%	62%	100%	50%	50%	-	60%	34%	27%	45%	50%
	C3	-	80%	0%	62%	100%	40%	25%	-	60%	14%	2%	45%	30%
	C4	-	80%	0%	62%	100%	40%	10%	-	60%	0%	0%	45%	30%
SÃO FRANCISCO DO SUL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SÃO LUIS – PORTO	-	-	-	44%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TACOATIARA	C0	-	-	-	1%	-	-	-	-	17%	-	-	-	-
	C1	-	-	-	1%	-	-	-	-	17%	-	-	-	-
	C2	-	-	-	1%	-	-	-	-	17%	-	-	-	-
	C3	-	-	-	1%	-	-	-	-	17%	-	-	-	-
	C4	-	-	-	1%	-	-	-	-	17%	-	-	-	-
VITÓRIA – PORTO	C0	-	20%	21%	23%	-	-	-	-	-	-	16%	-	-
	C1	-	20%	21%	23%	-	-	-	-	-	-	16%	-	-
	C2	-	20%	21%	23%	-	-	-	-	-	-	16%	-	-
	C3	-	20%	21%	23%	-	-	-	-	-	-	16%	-	-
	C4	-	20%	21%	23%	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaboração própria

**Tabela 22:** Explicação dos Percentuais dos fluxos de carga do Milho

<b>Alto Garças</b>	Não foi modificada a distribuição, uma vez que o custo logístico para o porto de Barcarena não é a melhor opção.
<b>Brasnorte</b>	Para este esse centroide, a opção de Barcarena e Santana são as melhores opções. Com isso, todo o fluxo foi considerado para Barcarena e Santana na configuração futura.
<b>Campo Novo do Parecis</b>	Não foi modificada a distribuição, uma vez que o custo logístico para o porto de Barcarena não é a melhor opção.
<b>Campo Verde</b>	Não foi modificada a distribuição, uma vez que o custo logístico para o porto de Barcarena não é a melhor opção.
<b>Canarana</b>	Não foi modificada a distribuição, uma vez que o custo logístico para o porto de Barcarena não é a melhor opção.
<b>Diamantino</b>	Não foi modificada a distribuição, uma vez que o custo logístico para o porto de Barcarena não é a melhor opção.
<b>Gáucha do Norte</b>	Não teve movimentação de fluxo de carga
<b>Nova Mutum</b>	O destino de Barcarena e Santana não são as melhores opções, mas como a diferença de frete é pequena entre Santos e Barcarena, foi considerada uma divisão de 60% / 40% do que vai atualmente para Santos.
<b>Nova Ubiratã</b>	Não foi modificada a distribuição, uma vez que o custo logístico para o porto de Barcarena não é a melhor opção.
<b>Paranaíta</b>	A melhor opção em relação ao curso logístico foi Santarém, porém, como espera-se mais uso da hidrovia, deslocou-se o restante do Fluxo para Barcarena e Santana e, para Santarém, utilizou-se a diferença do uso de Barcarena e Santana.
<b>Porto Alegre do Norte</b>	Não teve movimentação de fluxo de carga.
<b>Primavera do Leste</b>	Não foi modificada a distribuição, uma vez que o custo logístico para o porto de Barcarena não é a melhor opção.
<b>Querência</b>	Não foi modificada a distribuição, uma vez que o custo logístico para o porto de Barcarena não é a melhor opção, porém, observa-se um fluxo existente em Barcarena.
<b>Rondonópolis</b>	Não foi modificada a distribuição, uma vez que o custo logístico para o porto de Barcarena não é a melhor opção.
<b>Rosário Oeste</b>	Não foi modificada a distribuição, uma vez que o custo logístico para o porto de Barcarena não é a melhor opção.
<b>Santa Rita do Trivelato</b>	Não foi modificada a distribuição, uma vez que o custo logístico para o porto de Barcarena não é a melhor opção.
<b>São José do Rio Claro</b>	Para esse centroide, a opção de Barcarena e Santana são as melhores opções, porém, Santos hoje absorve 29% da carga. Com isso, foi considerado ainda um resíduo de 10% para Santos na configuração futura.
<b>São José do Xingu</b>	
<b>Sapezal</b>	A melhor opção em relação ao curso logístico foi Santarém, porém, superou as demais. Fixou-se o valor de Santarém, pois espera-se o desenvolvimento da hidrovia.
<b>Sinop</b>	A melhor opção em relação ao curso logístico foi Santarém, porém, superou as demais. Fixou-se o valor de Santarém, pois espera-se o desenvolvimento da hidrovia.
<b>Sorriso</b>	A melhor opção em relação ao curso logístico foi Santarém, porém, superou as demais. Fixou-se o valor de Santarém em 10%, próximo ao considerado em Sinop, pois espera-se o desenvolvimento da hidrovia.
<b>Tangará da Serra</b>	Não foi modificada a distribuição, uma vez que o custo logístico para o porto de Barcarena não é a melhor opção.
<b>Tapurah</b>	Embora a opção pela hidrovia seja a melhor opção, o frete não apresentou grande diferença com Santos, logo foi dividida a demanda.

**Fonte:** Elaboração própria

Em relação à definição dos indicadores para analisar a resiliência, foram utilizadas as mesmas variáveis: CO<sub>2</sub>, custo do transporte (frete) e custo de acidente para calcular a eficiência, conforme mencionado no Item 3.1 d3.

Para fazer o cálculo dos indicadores da resiliência, foi realizada a soma da multiplicação do custo, do CO<sub>2</sub>, e do custo de acidente com o fluxo de carga dos 23 centroides para cada cenário de alternativa de transporte com e sem ameaça e para os cenários do fluxo de carga. Esse cálculo está representado na Figura 38.

**Figura 37: Cálculo dos Indicadores de Resiliência**

Fluxo de carga		Cenário 0 (Atual)	Cenário 1	Cenário 2		
		Centroide 1 Centroide 2 ... Centroide 23				
<p><b>Cenário atual :</b> Utilização de 16% da hidrovía Tapajós-Teles Pires</p> <p><b>Cenário 1:</b> Aumento de 20% do Fluxo da Carga para Barcarena e aumento de 5% do fluxo da carga para Santana.</p> <p><b>Cenário 2:</b> Aumento de 40% do Fluxo da Carga para Barcarena e aumento de 10% do fluxo da carga para Santana</p> <p><b>Cenário 3:</b> Aumento de 60% do Fluxo da Carga para Barcarena e aumento de 15% do fluxo da carga para Santana</p> <p><b>Cenário 4:</b> Aumento de 80% do Fluxo da Carga para Barcarena e aumento de 20% do fluxo da carga para Santana.</p>	<b>X</b>	Rodoviário-Hidroviário (Tapajós e Rio Amazonas)	Rodoviário-Hidroviário (Tapajós e Rio Amazonas)	Rodoviário-Hidroviário (Tapajós e Rio Amazonas)	<b>=</b>	<b>Custo</b>
		Rodoviário-Hidroviário (Rio Amazonas)	Rodoviário-Hidroviário (Rio Amazonas)	Rodoviário-Hidroviário (Rio Amazonas)		
		Rodoviário-Hidroviário (Rio Madeira e Amazonas)	Rodoviário-Hidroviário (Rio Madeira e Amazonas)	Rodoviário-Hidroviário (Rio Madeira e Amazonas)		
		Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles Pires)	Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles Pires)	Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles Pires)		
		Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles Pires)	Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles Pires)	Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles Pires)		
		Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles Pires)	Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles Pires)	Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles Pires)		
		Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles pires)	Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles pires)	Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles pires)		
		Rodoviário	Rodoviário	Rodoviário		
		Rodoviário	Rodoviário	Rodoviário		
		Rodoviário-Ferrovário	Rodoviário	Rodoviário-Hidroviário		
		Rodoviário-Ferrovário	Rodoviário	Rodoviário-Hidroviário		
		Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles Pires)	Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles Pires)	Rodoviário-Hidroviário (Tapajós-Teles Pires)		
		Rodoviário-Hidroviário	Rodoviário-Hidroviário	Rodoviário-Hidroviário		
		Rodoviário	Rodoviário	Rodoviário		
		Rodoviário-Ferrovário	Rodoviário	Rodoviário-Hidroviário		
		Rodoviário-Ferrovário	Rodoviário	Rodoviário-Hidroviário		
		Rodoviário-Hidroviário (Tietê Paraná)-Ferrovário	Rodoviário-Hidroviário	Rodoviário-Hidroviário		
		Rodoviário	Rodoviário	Rodoviário		
		Rodoviário-Ferrovário	Rodoviário	Rodoviário-Hidroviário		
		Rodoviário-Hidroviário (Rio Madeira)	Rodoviário-Hidroviário (Rio Madeira)	Rodoviário-Hidroviário (Rio Madeira)		
Rodoviário-Ferrovário	Rodoviário	Rodoviário-Hidroviário				

**Fonte:** Elaboração própria

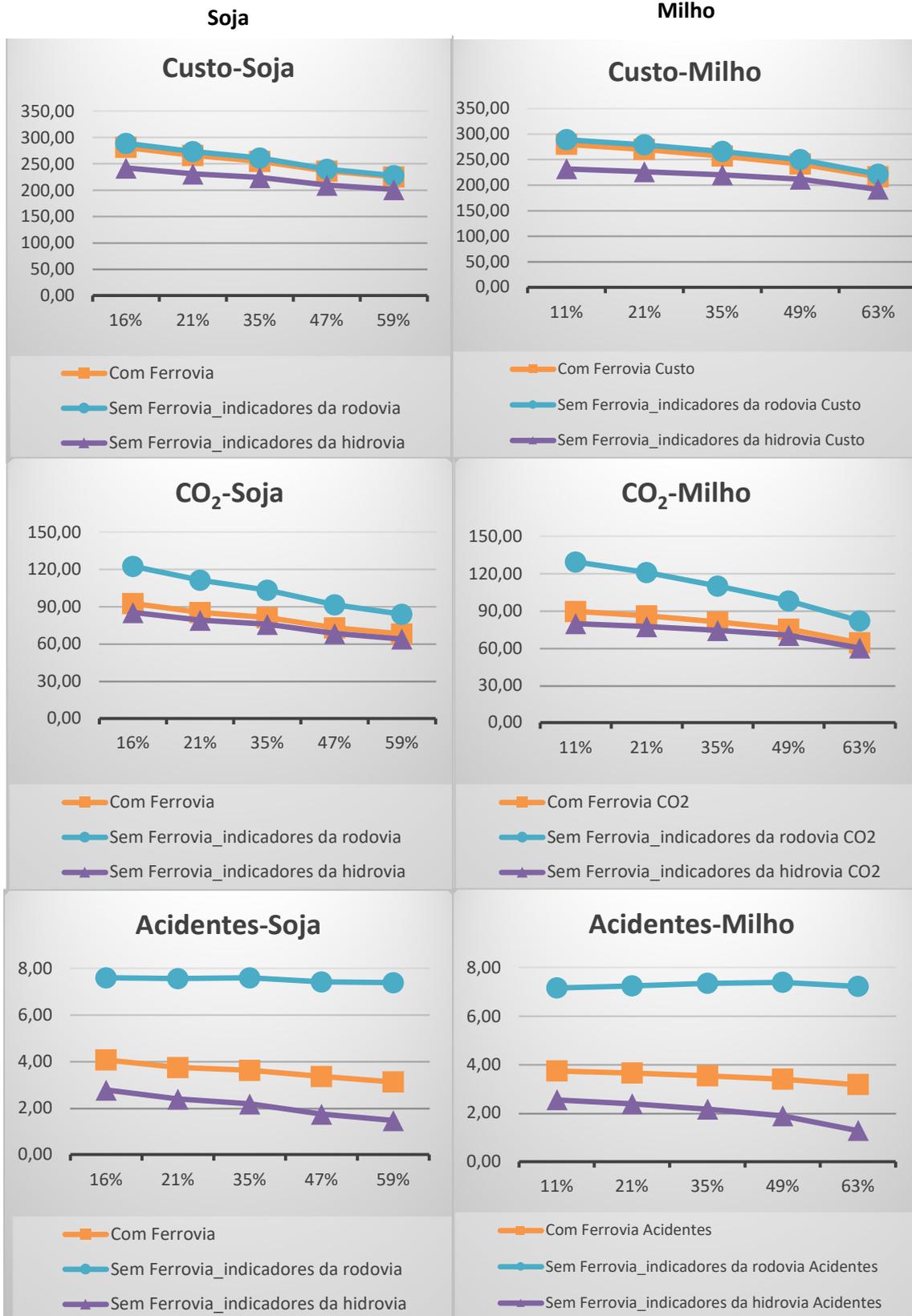
No próximo item serão apresentados os resultados econômicos, ambientais e sociais dos cenários com ameaça e sem ameaça do Cenário 0 (situação atual), Cenário 1 (substituição do ferroviário pelo rodoviário) e Cenário 2 (substituição do ferroviário pelo hidroviário) das alternativas de transportes em conjunto com os cenários do fluxo de carga: o Cenário 1 é o cenário 0 acrescido de 20% para o porto de Barcarena e acrescido

5% para o porto de Santana, representando 21% para soja e para o milho de utilização da hidrovía Tapajó-Teles Pires. O cenário 2 é o cenário 0 acrescido de 40% para o porto de Barcarena e acrescido 10% para o porto de Santana, representando 35% para soja e para o milho de utilização da hidrovía Tapajó-Teles Pires. O cenário 3 é o cenário 0 acrescido de 60% para o porto de Barcarena e acrescido 15% para o porto de Santana, representando 47% para soja e 49% para o milho de utilização da hidrovía Tapajó-Teles Pires. E o Cenário 4 representa o Cenário 0 acrescido de 80% para o porto de Barcarena e acrescido 20% para o porto de Sanatana, representando 59% para soja e 63% para o milho de utilização da hidrovía Tapajó-Teles Pires.

### **6.9. Passo 8**

Iniciando a análise dos resultados observados, no Cenário 0, foi considerada a situação atual sem ameaça, ou seja, a utilização dos modos de transportes rodoviário, ferroviário e hidroviário. No Cenário 1, a rodovia foi substituída pela ferrovia e, no Cenário 2, a hidrovía foi substituída pela ferrovia. Esses cenários foram comparados com os cenários de variação da demanda. Os cenários de variação da demanda da soja são 16%, 21%, 35%, 47% e 59% e os cenários de variação do milho são 11%, 21%, 35%, 49% e 63%, que utilizam a hidrovía Tapajós-Teles Pires com destino para os portos de Barcarena e Santana. A Figura 39 apresenta essas informações de forma detalhada.

**Figura 38:** Indicadores econômicos, ambientais e sociais no Cenário 0 das alternativas de transportes com os Cenários 0, 1, 2, 3, 4 da variação da demanda



Fonte: Elaboração própria

Pode ser observado, em uma análise mais geral, na Figura 8, que os resultados do Custo de Transporte, do CO<sub>2</sub> e do Custo de Acidentes do sistema de transporte de soja e de milho diminuem, conforme aumenta a demanda (Cenários 0, 1, 2, 3, 4 do fluxo de carga) na hidrovía Tapajós-Teles Pires, comparando com o Cenário 0 (com ferrovia), o Cenário 1 (sem ferrovia, substituindo pela rodovia) e o Cenário 2 (sem ferrovia, substituindo pela hidrovía) das alternativas de transportes.

A seguir, as análises são apresentadas no contexto de cada cenário das alternativas de transportes (cenário 0, 1 e 2) da soja.

#### *Cenário 0 (atual) da Soja*

Comparando o Custo de Transporte, o CO<sub>2</sub> e o Custo de Acidente do cenário 0 dos fluxos de carga, que representa 16% de utilização da hidrovía, com o cenário 4, que representa 59% de utilização da hidrovía, verificou-se respectivamente uma redução de 19,95% do custo de transporte, 26,54% do CO<sub>2</sub> e 23,33% do Custo de Acidente.

#### *Cenário 1 da Soja*

Comparando os resultados do fluxo de 16% com o fluxo de 59%, foi observada uma redução de 21,22% do custo de transportes, 31,49% do CO<sub>2</sub> e 2,74% do custo de acidente.

#### *Cenário 2 da Soja*

Já nesse cenário, comparando o menor fluxo de carga (16%) com o maior fluxo de carga (59%), obteve-se uma redução de 16,89% do custo de transporte, 25,02% do CO<sub>2</sub> e 47,29% do custo de acidente.

Analisando o sistema de transporte de milho, pode-se observar também a diminuição dos valores do Custo de Transporte, do CO<sub>2</sub> e do Custo de Acidente, conforme aumenta o fluxo de carga dos cenários 0, 1 e 2. A seguir, as análises são apresentadas no contexto de cada cenário das alternativas de transportes (cenário 0, 1 e 2) do milho.

#### *Cenário 0 (atual) do Milho*

Comparando os resultados do cenário 0 dos fluxos de carga, que representa 11% de utilização da hidrovía, com o cenário 4, que representa 63% de utilização da hidrovía, apresentou-se uma redução de 22,84% do custo de transporte, 28,26% do CO<sub>2</sub> e 15,15% do custo de acidente.

### *Cenário 1 do Milho*

Verificou-se uma redução de 23,50% do custo de transporte, 36,64% do CO<sub>2</sub> e um pequeno aumento de 0,88 % do custo de acidente, comparando o menor valor (11%) e o maior valor (63%) do fluxo de carga. Mesmo aumentando o fluxo de carga na hidrovía Tapajós-Teles Pires, o custo de acidente cresceu devido a maior utilização do modo de transporte rodoviário.

### *Cenário 2 do Milho*

Comparando o menor valor com o maior valor do fluxo de carga, esse cenário obteve uma redução de 17,31% do custo de transporte, 24,62% do CO<sub>2</sub> e 49,93% do custo de acidentes.

Essa redução pode ser justificada pelo aumento da participação da hidrovía Tapajós-Teles Pires no sistema de transporte de soja e de milho. Verificou-se por meio dos resultados do cenário 0 com o cenário 4 dos fluxos de carga, que a utilização da hidrovía Tapajós-Teles Pires na sua totalidade deve gerar uma economia de R\$ 75 no custo de transporte, R\$ 49,91 no CO<sub>2</sub> e R\$ 1,5 no custo de acidentes.

Outra análise relevante é a comparação dos valores dos indicadores do cenário 0, cenário 1 e cenário 2 das alternativas de transportes. Pode-se observar um aumento do custo de transportes, do CO<sub>2</sub> e do custo de acidentes no cenário 1 em comparação com o cenário 0 e uma diminuição do custo de transporte, do CO<sub>2</sub> e do custo de acidente no cenário 2 em relação ao cenário 0.

A seguir, serão realizadas as análises da média dos resultados dos cenários da variação da demanda por cenário de alternativa de transporte.

Os resultados do cenário 1 da soja indicaram uma média de 2,08% do custo de transportes, 27,81% de CO<sub>2</sub> e 111,36% do custo de acidentes, maior do que observado no cenário 0 e a média maior em 16,36% do custo de transportes, 37,05% de CO<sub>2</sub> e 273,89% do custo de acidentes encontrado no cenário 2.

Já em relação aos indicadores do milho, o cenário 1 exibiu uma média de 3,2% do custo de transportes, 30,64% de CO<sub>2</sub> e 109% do custo de acidentes, superior aos indicadores observados no cenário 0 e uma média de 20,41% do custo de transportes, 48,37% de CO<sub>2</sub> e 277% do custo de acidentes maior que o cenário 2.

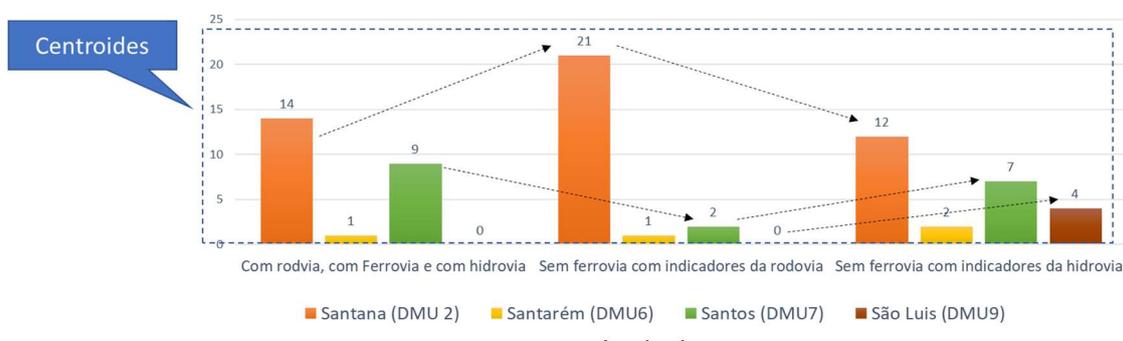
Esses resultados podem ser interpretados no cenário 2 como a contribuição que o sistema hidroviário poderá proporcionar para a redução do custo de transportes, do CO<sub>2</sub>

e do custo de acidentes. E no cenário 1, os resultados refletem a ineficiência do modo de transporte rodoviário, como uma modalidade cara e poluente.

### 6.10. Passo 9

Nesta seção será apresentado o desempenho das rotas em um contexto geral, utilizando o índice da Composta\*, que permite identificar se a rota que utiliza a hidrovia Tapajós-Teles Pires (DMU 1, DMU 2 e DMU 6) é a mais eficiente dentre as 23 rotas no cenário 0, no cenário 1 e no cenário 2 das alternativas de transportes, detalhado na Figura 40.

**Figura 39:** Eficiência Cenário 0, no Cenário 1 e no Cenário 2 das alternativas de transportes



Portos	Rotas
<b>Santana (DMU2)</b>	Rodoviário-Hidroviário (Tapajós – Teles Pires)
<b>Santarém (DMU6)</b>	Rodoviário-Hidroviário (Tapajós – Teles pires)
<b>Santos (DMU 7)</b>	Rodoviário- Ferroviário (Rodoviário/Hidroviário)
<b>São Luis (DMU9)</b>	Rodoviário- Ferroviário (Rodoviário/Hidroviário)

A DMU 2, que utiliza a hidrovia Tapajós-Teles Pires com destino ao porto de Santana apresentou o valor mais elevado no índice da Composta\* em 14 centroides no Cenário 0 (com ferrovia), em 21 centroides no cenário 1 e 12 centroides no Cenário 2, o que significa que essa rota foi a mais eficiente entre as 23 rotas existentes nesses centroides.

No Cenário 0 (com ferrovia), além da DMU 2, a DMU 7 se destacou com 9 centroides eficientes, apresentando os menores valores em emissão de CO<sub>2</sub> e custo de acidentes entre as rotas, devido à intermodalidade entre os modos de transportes rodoviário e ferroviário.

No Cenário 1 (sem ferrovia, substituído pela rodovia), a quantidade de centroides da DMU 2 aumentou de 14 para 21 e a quantidade de centroides da DMU 7 diminuiu devido à substituição da ferrovia pela rodovia que exibiu valores altos na emissão de CO<sub>2</sub> e no custo de acidentes. Então, a DMU 2, que utiliza a hidrovía Tapajós-Teles Pires, se destacou com os menores valores nos indicadores ambientais e sociais.

No Cenário 2 (sem ferrovia, substituído pela hidrovía), a quantidade de centroides eficientes da DMU 2 diminuiu enquanto a quantidade de centroides da DMU 6, DMU 7 e DMU 9 aumentou. Essa diferença aconteceu devido à substituição do transporte ferroviário pelo hidroviário. Deste modo, os valores da emissão de CO<sub>2</sub> e custo de acidentes diminuíram com a utilização do modo de transporte hidroviário. E a DMU 2, que utiliza a hidrovía Tapajós-Teles Pires, mesmo diminuindo a quantidade de centroides, permaneceu a mais eficiente.

### **6.11. Passo 10**

Será analisado neste item como o sistema de transporte resiste nos diferentes cenários de transporte e nos diferentes cenários de demanda na hidrovía Tapajós-Teles Pires. Conforme descrito na Figura 36 e na Figura 37, foram apresentados três cenários das alternativas de transportes e cinco cenários de variação da demanda. Para apresentar os cenários resilientes, foi realizada a diminuição do cenário atual das alternativas de transportes que o representa, utilizando os modos de transportes rodoviário, ferroviário e hidroviário, e do cenário atual do fluxo de carga, que representa 16% de soja e de 11% de milho da utilização da hidrovía Tapajós-Teles Pires, subtraindo o Cenário 1 (rodoviário em substituição do ferroviário) e o Cenário 2 (hidroviário em substituição do ferroviário). Esse cálculo foi realizado nos cinco cenários do fluxo de carga para o Cenário 1 e para o Cenário 2 das alternativas de transportes.

**Figura 40: Verificação da resiliência**

Situação Atual		Substituição da ferrovia pela rodovia			Substituição da ferrovia pela hidrovia			
Soja	R\$ 282,27	Soja						
	16%	16%	↓	↓	↓	↑	↑	↑
		21%	↑	↓	↓	↑	↑	↑
	R\$ 92,71	35%	↑	↓	↓	↑	↑	↑
		47%	↑	↑	↓	↑	↑	↑
R\$ 4,08	59%	↑	↑	↓	↑	↑	↑	
Milho	R\$ 280,11	Milho						
	11%	11%	↓	↓	↓	↑	↑	↑
		21%	↑	↓	↓	↑	↑	↑
	R\$ 89,81	35%	↑	↓	↓	↑	↑	↑
		49%	↑	↓	↓	↑	↑	↑
R\$ 3,74	63%	↑	↑	↓	↑	↑	↑	

Fonte: Elaboração própria

Conforme observado na Tabela 21, os cenários de soja e de milho são semelhantes. No custo de transporte do cenário 1, tanto a soja quanto o milho não tiveram benefício no primeiro cenário do fluxo de carga, porém, conforme foi crescendo a demanda na hidrovia Tapajós-Teles Pires, aumentou também a economia do sistema de transporte. Na emissão de CO<sub>2</sub> da soja do Cenário 1, apenas os cenários de 47% e de 59% de utilização da hidrovia tiveram benefícios. E na emissão de CO<sub>2</sub> do milho do Cenário 1, o sistema de transportes apresentou benefícios apenas no cenário de 63%. Já no custo de acidentes da soja e do milho, não foi apresentado benefício em nenhum cenário.

O custo de transporte, a emissão de CO<sub>2</sub> e o custo de acidentes do Cenário 2 de soja e de milho apresentaram benefícios em todos os cenários das demandas que utilizam a hidrovia Tapajós-Teles Pires.

Por meio das análises realizadas nesta seção e nas seções anteriores, é possível constatar os benefícios econômicos ambientais e sociais com aumento da utilização da hidrovia Tapajós-Teles Pires. E como o aumento da utilização do modo de transporte rodoviário causou a ineficiência nas rotas e no sistema como o todo.

## 7. CONCLUSÃO

O trabalho apresentado permite visualizar como um método estruturado pode trazer benefícios para uma determinada região com a influência de uma hidrovia baseado na eficiência e na resiliência. Ressalta-se a originalidade do trabalho ao estruturar um método para mensurar a influência da hidrovia com base na avaliação da eficiência e da resiliência em diferentes cenários de demanda na hidrovia e em diferentes cenários de alternativas de transporte. Outro aspecto que dá destaque ao trabalho é a utilização de medidas de sustentabilidade como base para identificar os benefícios.

Neste contexto, o objetivo da Tese tratou da elaboração de um método voltado para mensurar os impactos econômicos, ambientais e sociais da hidrovia Tapajós-Teles Pires e da sua influência na resiliência das rotas e do sistema de transportes de commodities. O objetivo foi atingido a partir da estruturação do método, facilmente aplicável a regiões de estudo para outras hidrovias e para outros modos de transportes, independentemente da área de abrangência.

Além dos objetivos tratados, há ainda a hipótese a ser examinada. A hipótese central supõe que o método proposto mensure a eficiência e a resiliência nas dimensões econômicas, ambientais e sociais das rotas que utilizam a hidrovia Tapajós-Teles Pires, caso fosse navegável em toda sua extensão. Essa hipótese é verdadeira e foi demonstrada por meio do alcance do objetivo tratado e descrito neste estudo.

Quanto à problemática do trabalho, mencionou-se que diante das dimensões continentais do País, a principal desvantagem é o predomínio do modo de transporte rodoviário que em relação a qualidade da infraestrutura, é considerada regular, ruim ou péssima em 60,8%, de um total de 1,7 milhões de quilômetros de rodovias impactando no custo, no meio ambiente e na segurança. Além disso, essas deficiências podem representar perigos ou ameaças, ocasionando consequências indesejáveis em uma rede de transportes.

Com a opção de utilizar a hidrovia Tapajós-teles Pires em toda sua extensão em diferentes cenários de demanda e de transporte, seria uma sugestão para o problema apresentado. A importância do transporte hidroviário, evidencia que é o modo de maior retorno econômico, menos poluidor e o mais conservador do meio ambiente. Além disso, a implantação da Hidrovia Tapajós-Teles Pires é estratégica para o escoamento de commodities na região do Mato Grosso, onde se reúne a maior produção nacional de grãos, pois encurtaria as distâncias para os portos do Norte do País e reduziria o frete para

níveis competitivos, contribuindo para o crescimento da economia brasileira, com baixo impacto econômico, ambiental e social na região, sendo importante para a redução do Custo Brasil.

Das rotas mais sustentáveis com combinações intermodais de rodovia-ferrovia ou rodovia-hidrovia, os resultados mostram a importância da hidrovia Tapajós-Teles Pires como a opção mais sustentável para as exportações de soja de Mato Grosso.

As rotas que apresentaram os mais baixos índices de eficiência dependem predominantemente de rodovias a longas distâncias, de modo que a melhoria seria alcançada caso se utilizassem modos de alta capacidade (ferrovia e / ou água), conforme relatado por PNL T (2011).

Por meio das análises realizadas na verificação da resiliência, os cenários com maior percentual de variação de demanda na hidrovia e que utilizaram o modo de transporte hidroviário apresentaram benefícios econômicos, ambientais e sociais. E os cenários que utilizaram o transporte rodoviário apresentaram ineficiência nas rotas e no sistema como um todo.

Um sistema de transporte sustentável, portanto, implica no equilíbrio mais adequado (ótimo) das dimensões econômica, ambiental, social WCED (1987), viabilizando um aumento da qualidade da prestação de serviços logísticos (nível de serviço), do desenvolvimento econômico futuro, do meio ambiente e do bem-estar social (STEG e GIFFORD, 2005).

Kelle et al. (2019) afirmam que os governos precisam assumir a liderança e motivar os setores de transportes a tornar prioridade a busca por operações logísticas mais sustentáveis. A aplicação de novas tecnologias nos veículos, como a utilização de combustíveis de origens renováveis (ou híbrida), geram menores impactos ambientais e sociais (MAROUSEK, 2013).

Uma das limitações encontradas para o desenvolvimento desta pesquisa está relacionada com a análise que ficou limitada a uma rede de transportes de apenas estado brasileiro.

Outra limitação está associada à análise da eficiência das rotas de transportes, que contou com uma única variável indesejada: quantidade de emissão de gás carbônico (CO<sub>2</sub>). Para estudos futuros, recomenda-se que sejam consideradas outras variáveis que estejam relacionadas com a redução de emissões de gases de efeito estufa nas operações dos sistemas de transportes.

Diante da possibilidade de aumentar o volume de grãos exportados pelos portos no norte do Brasil, sugere-se que um estudo mais abrangente, portanto, deve ser realizado no sentido de se estabelecerem outras ligações e composições de alternativas, especialmente para atender a outras regiões e/ou utilizar outros portos, que considerem outros indicadores relacionados à sustentabilidade das rotas, além de analisar a possível influência no desempenho operacional do setor portuário e no desempenho sustentável da hidrovia Tapajós-Teles Pires. Além disso, recomenda-se atribuir pesos ao modelo de entradas e saídas para se obter resultados precisos do modelo DEA. Também foi mencionado o uso de outros métodos DEA, como os modelos I-O-Stepwise e DEA-SBM, entre outros. Por fim, sugere-se uma análise do comportamento das rotas em pares, de acordo com os resultados da DEA.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASSI, ABDERRAHMAN, AHMED EL HILALI ALAOUI, AND JAOUAD BOUKACHOUR., 2019. Robust optimisation of the intermodal freight transport problem: Modeling and solving with an efficient hybrid approach. **Journal of computational science** 30: 127-142.

ADAMS, T.; BEKKEM, K.; TOLEDO-DURAN, E., 2012. Freight resilience measures. **J. Transp. Eng.**, 1403–1409. doi: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000415.

ADJETEY-BAHUN, K.; BIRREGAH, B.; CHÂTELET, B.; PLANCHET, J., 2016. A model to quantify the resilience of mass railway transportations systems. **Reliability Engineering and System Safety**/ Elsevier, França, v. 153, p. 1-14, set. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2016.03.015>>.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS – ANTAQ. Estatístico Aquaviário. Disponível em <http://web.antaq.gov.br/Anuario/> Acesso em 26 Mar. 2019.

AGÊNCIA CÂMARA DE NOTÍCIAS, 2017. Debatedores confirmam viabilidade econômica e ambiental da hidrovia no São Francisco. Disponível em: Debatedores confirmam viabilidade econômica e ambiental da hidrovia no São Francisco - Notícias - Portal da Câmara dos Deputados ([camara.leg.br](http://camara.leg.br)). Acesso em: janeiro/2021

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTE AQUAVIÁRIO. “Panorama Aquaviário” Volume 3. Brasília: ANTAQ, 2009. 97p.

ALICE, WEB. Disponível em:< <http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br/>>. Acesso em, 2018

ALMEIDA, M. R. D., 2010. A eficiência dos investimentos do Programa de Inovação **Tecnológica disciplinas**. Washington, D.C.: World Bank, 2001.

AMIR SAMIMI, ABOLFAZL MOHAMMADIAN & KAZUYA KAWAMURA , 2010. A behavioral freight movement microsimulation model: method and data, **Transportation Letters**, 2:1, 53-62,

ALVES, H. P. F., 2009. Metodologias de integração de dados sociodemográficos e ambientais para análise da vulnerabilidade socioambiental em áreas urbanas no contexto das mudanças climáticas. In: HOGAN, D. J.; MARANDOLA JR. E. (orgs.). População e mudança climática: dimensões humanas das mudanças ambientais globais. Campinas: NEPO/UNICAMP.

ALWANG, J.; SIEGEL, P. B.; JORGENSEN, S. L., 2001. Vulnerability: a view from different disciplines. Washington, D.C.: World Bank.

AMORIM, J. C. C., LOPES, D. M. M. , 2017. Estudos de Viabilidade da Hidrovia do Tapajós/Teles Pires/Juruena. ANPET. Disponível em: [http://146.164.5.73:30080/tempsite/anais/documentos/2017/Aspectos%20Economicos%20Sociais%20Politicos%20e%20Ambientais%20do%20Transporte/Economia%20dos%20Transportes%20II/4\\_394\\_AC.pdf](http://146.164.5.73:30080/tempsite/anais/documentos/2017/Aspectos%20Economicos%20Sociais%20Politicos%20e%20Ambientais%20do%20Transporte/Economia%20dos%20Transportes%20II/4_394_AC.pdf). Acesso em: Acesso em: 15 Jul. 2018.

ANTAQ – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS. Frota geral analítica. Base de dados [On-line]. Disponível em: Acesso em: 12 jun. 2017.

ANTAQ – Agência Nacional de Transporte Aquaviário, 2009, Subsídios técnicos para identificação de áreas destinadas à instalação de portos organizados ou autorização de terminais de uso privativo em apoio ao plano geral de outorgas

ANTAQ – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS. Anuário estatístico aquaviário. Brasília: ANTAQ, [s.d.]. Disponível em: <http://web.antaq.gov.br/Anuario2017/>. Acesso em: 5 dezembro 2018.

ANTAQ - ANUÁRIO ESTATÍSTICO. BRASÍLIA: AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS. Disponível em: <http://web.antaq.gov.br/Anuario/>, acesso em 3 abr. 2019.

ANTONIOLLI, P. D., 2003, Medidas de Desempenho em Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos. Anais do XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Ouro Preto, Minas Gerais: ABEPRO.

ANUÁRIO RF, 2011. O mais completo guia do setor metroferroviário brasileiro. Ano 1 nº 1.

APAS, 1996. Transport Strategic Modelling. Luxemburgo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE OPERADORES LOGÍSTICOS (ABOL), 2020. Obra de derrocamento paralisada na Hidrovia Tietê-Paraná será reiniciada em 2021. Disponível em: <https://abolbrasil.org.br/posts/obra-de-derrocamento-paralisada-na-hidrovia-tiete-parana-sera-reiniciada-em-2021/>. Acesso em janeiro/2021.

ASSOCIAÇÃO DAS HIDROVIAS DA AMAZÔNIA ORIENTAL - AHIMOR, 2012. Hidrovia Tapajós/Teles-Pires. Disponível em [www.antaq.gov.br](http://www.antaq.gov.br).

AZEVEDO, T.R. DE; COSTA JUNIOR, C.; BRANDÃO JUNIOR, A.; CREMER, M. DOS S.; PIATTO, M.; TSAI, D.S.; BARRETO, P.; MARTINS, H.; SALES, M.; GALUCHI, T.; ET AL., 2018. SEEG initiative estimates of Brazilian greenhouse gas emissions from 1970 to 2015. **Sci. data**. 5, 1–43.

BACEN Cotações e Boletins Available online: <https://www4.bcb.gov.br/pec/taxas/port/ptaxnpesq.asp> (accessed on Apr 24, 2019).

BALEŽENTIS, T.; LI, T.; STREIMIKIENE, D.; BALEŽENTIS, A., 2016 Is the Lithuanian economy approaching the goals of sustainable energy and climate change mitigation? Evidence from DEA-based environmental performance index. *J. Clean. Prod.* 2016, 116, 23–31.

BARAT, J., 2011. Infraestruturas de logística e transporte: análise e perspectivas. In: Silveira, Marcio (Org.). Circulação, Transporte e logística: diferentes perspectivas. São Paulo: outras Expressões.

BARBOSA, K. D. S., FERNANDEZ, R. N. E GONÇALVES, M. T. , 2016. Avaliando os aspectos institucionais do setor elétrico brasileiro por meio da teoria econômica de contratos. **Planejamento e políticas públicas**, 46: 73-107.

BARTH, M.; BORIBOONSOMSIN, K. REAL, 2010. World Carbon Dioxide Impacts of Traffic Congestion. UC Berkeley Univ. Calif. Transp. Cent.

BARKENBUS, J.N., 2010. Eco-driving: An overlooked climate change initiative. *Energy Policy*. 38, 762–769.

BAZARAS, D.; YATSKIV, I.; ALMINAS, M.; RAMUNAS, P., 2015. Analysis of Common Governance Transport System Development Possibilities in the East-west Transport Corridor. **Transport and Telecommunication**, v.16(1), p.31-39 DOI:10.1515/ttj-2015-0004

BEHRENDT, S., LINDHOLM, M. AND WOXENIUS, J., 2008. The impact of urban freight transport: a definition of sustainability from an actor's perspective. **Transportation Planning and Technology**, 31 (6), Routledge, Taylor & Francis Group.

BEHRENDT, SÖNKE, 2012. The significance of the urban context for the sustainability performance of intermodal road-rail transport. **Procedia-Social and Behavioral Sciences** 54: 375-386.

BELL, C., 2000. Developing and marketing patent information services to small and medium enterprises (SMEs) in Birmingham, UK. **World Patent Information**, 22 (4), 325–328

BELL, C. C., BHANA, A., PETERSEN, I., MCKAY, M., GIBBONS, R., BANNON, W., AMATYA, A., 2008. Building protective factors to offset sexually risky behaviors among Black youth: A randomised control trial. *Journal of the National Medical Association*, 100, 1–9.

BERTOLOTO, R.F., & SOARES DE MELLO, J.C.C.B., 2011. Eficiência de portos e terminais privativos brasileiros com características distintas. **Journal of Transport Literature**, 5(2), 4-21.

BIONDI NETO, LUIZ. NEURO, 2001. DEA: Nova Metodologia para Determinação da Eficiência Relativa de Unidades Tomadoras de Decisão. Rio de Janeiro. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

BOUCHERY, Y., & FRANSOO, J., 2015. Cost, carbon emissions and modal shift in intermodal network design decisions. **International Journal of Production Economics**, 164, 388-399.

BRANCO, J.E.H., BRANCO, D.H., AGUIAR, E.M. DE, CAIXETA FILHO, J.V., RODRIGUES, L., 2019. 623 Study of optimal locations for new sugarcane mills in Brazil: Application of a MINLP 624 network equilibrium model. **Biomass and Bioenergy** 127, 105249. 625 <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.05.018>

BRANCO, J. E. H. E CAIXETA-FILHO, J. V., 2011. Estimativa da demanda de carga captável pela estrada de ferro Norte-Sul. **Journal of Transport Literature**, vol. 5, n. 4,

pp. 17- 50.

BRANCO, JOSÉ EDUARDO HOLLER, *et al.*, 2020. 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**.

BRASIL. PLANO NACIONAL DE LOGÍSTICA E TRANSPORTES (PNLT); 2011, Ministério dos Transportes (MT): DF, Brasil.

BRASIL. PLANO NACIONAL DE INTEGRAÇÃO HIDROVIÁRIA (PNIH); 2013, Relatório Executivo: Bacia Amazônica; Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ): DF, Brazil.

BRASIL. PLANO HIDROVIÁRIO ESTRATÉGICO (PHE), 2015 - Diagnóstico e Avaliação; Ministério da Infraestrutura: DF, Brazil, 2013; agroexportadora de soja. *Rev. Espac.* 36, 1–12.

BRASIL. ANUÁRIO CNT DO TRANSPORTE, 2018 estatísticas consolidadas 2018; Confederação Nacional do Transportes (CNT): DF, Brasil.

BRASIL. PORTAL COMEXSTAT AVAILABLE ONLINE: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral> (accessed on Apr 24, 2019).

BRASIL. PLANO NACIONAL DE INTEGRAÇÃO HIDROVIÁRIA (PNIH), 2013 - Relatório Executivo: Bacia Amazônica; Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ): DF, Brazil.

BRASIL. PLANO HIDROVIÁRIO ESTRATÉGICO (PHE), 2013. Diagnóstico e Avaliação; Ministério da Infraestrutura: DF, Brasil.

BRASIL AGRO, 2018. Valor do frete incorpora aumento do preço do diesel. Disponível em: <https://www.brasilagro.com.br/conteudo/valor-do-frete-incorpora-aumento-do-preco-do-diesel.html>. Acesso em: dezembro de 2020.

BRAZIL, 2019. Historical series of harvests Available online: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=20> (accessed on Apr 25, 2019).

BRITO, P., 2012, Plano Geral de Outorgas do Setor Portuário – PGO: Investimentos portuários e desenvolvimento de hidrovias. In: *InfraPortos*, ANTAQ, São Paulo.

BRUNEAU, M, S CHANG, R EGUCHI, G LEE, T O'ROURKE, A REINHORN, M SHINOZUKA, K TIERNEY, W WALLACE AND D VON WINTERFELT, 2003. A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities. **EERI Spectra Journal** 19, no.4: 733–752.

BUEHLER, R.; PUCHER, J.; KUNERT, U., 2009. Making Transportation Sustainable: Insights from Germany; **Metropolitan Policy Program**: Washington D.C., United States,

CAMPOS, R.S. DE; SIMON, A.T.; MARTINS, F. DE C., 2019. Assessing the impacts of road freight transport on sustainability: A case study in the sugar-energy sector. **J.**

**Clean. Prod.**, 220, 995–1004.

CARIS, A., LIMBOURG, S., MACHARIS, C., VAN LIER, T., & COOLS, M., 2014. Integration of inland waterway transport in the intermodal supply chain: a taxonomy of research challenges. **Journal of Transport Geography**, 41, 126-136.

CARVALHO, H., BARROSO, A., MACHADO, V., AZEVEDO, S., & CRUZ-MACHADO, V., 2012. Supply chain redesign for resilience using simulation. **Computers & Industrial Engineering**, 62(1), 329–341.

CASTRO, D., 2013, Governo elabora Plano Nacional de Logística Integrada para melhorar o uso de modais de transporte no Brasil. Rural BR Agricultura. Brasília/DF. Disponível em: . Acesso: 25/mar/2014.

CERRI, L.E. DA S. & AMARAL, C. RISCOS GEOLÓGICOS. 1998. In: Oliveira, A.M dos S., Brito, S.N. (organizadores), Geologia de Engenharia. São Paulo, ABGE (Associação Brasileira de Geologia de Engenharia), 1998, P.301-310.

CHAN, R.; SCHOFER, J. L. ,2016. Measuring Transportation System Resilience: Response of Rail Transit to Weather Disruptions. **Natural Hazards Review**, 17(1). doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)NH.15276996.0000200](https://doi.org/10.1061/(ASCE)NH.15276996.0000200).

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E., 1978. Measuring the efficiency of decision making units. v. 2, p. 429–444.

CHEN, C.H., et al., 2007. Long-term psychological outcome of 1999 Taiwan earthquake survivors: a survey of a high-risk sample with property damage. **Comprehensive Psychiatry**, 48 (3), 269–275.

CHEN, C.H., *et al.*, 2007. Long-term psychological outcome of 1999 Taiwan earthquake survivors: a survey of a high-risk sample with property damage. **Comprehensive Psychiatry**, 48 (3), 269–275.

CHEN, Lichun; MILLER-HOOKS, Elise., 2012. Resilience: an indicator of recovery capability in intermodal freight transport. **Transportation Science**, v. 46, n. 1, p. 109-123.

CHIAVENATO, I., 1994, Recursos Humanos na Empresa: Pessoas, Organizações e Sistemas. 3.ed. São Paulo, Editora Atlas.

CHOPA, SUNIL; MEINDL, PETER., 2003. Gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégia, planejamento e operação. São Paulo: Prentice Hall.

CHRISTOPHER, MARTIN; RUTHERFORD, CHRISTINE., 2004. Creating supply chain resilience through agile six sigma. **Critical eye**, v. 7, n. 1, p. 24-28.

CITAq., 2013. Centro de Informação em Transporte Aquaviário. Disponível em: <<http://http://ciant4q.wordpress.com/hidroviarias/transporte-hidroviario-interior-no-mundo>>. Acesso em: 28 abr.

CLARK, J. S., IVERSON, L., WOODALL, C. W., ALLEN, C. D., BELL, D. M., BRAGG, D. C., ... & JACKSON, S. T., 2016. The impacts of increasing drought on forest

dynamics, structure, and biodiversity in the United States. **Global Change Biology**, 22(7), 2329-2352.

CNT, Confederação Nacional do Transporte, Pesquisa CNT da Navegação Interior 2013. Brasília

CNT. Pesquisa CNT de rodovias 2017: relatório gerencial. Brasília. CNT:SEST : SENAT, 2018. Disponível em: [http://pesquisarodoviascms.cnt.org.br//Relatorio%20Geral/Pesquisa%20CNT%20\(2017\)%20-%20BAIXA.pdf](http://pesquisarodoviascms.cnt.org.br//Relatorio%20Geral/Pesquisa%20CNT%20(2017)%20-%20BAIXA.pdf). Acesso em: 15 mar. 2018.

CNT, Confederação Nacional do Transporte, Pesquisa CNT da Navegação Interior 2015. Brasília, 2015.

CNT, Transporte Atual nº 239, 2015

CNT, Confederação Nacional do Transporte, Pesquisa CNT da Navegação Interior 2015. Brasília, 2015

CNT / SEST / SENAT. PESQUISA CNT DE RODOVIAS 2018. RELATÓRIO GERENCIAL. Brasília, 2019.

CNT, Anuário CNT do transporte: estatísticas consolidadas 2019. Brasília: CNT, 2019.

CNT. Confederação Nacional do Transporte. Boletim Estatístico – 06 – 2017. Disponível em: . Acesso em: 29 outubro 2017.

CNT, 2019. Acidentes rodoviários : estatísticas envolvendo caminhões. – Brasília

CNT, 2019. Falta-investimento no sistema hidroviário brasileiro. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/falta-investimento-no-sistema-hidroviario-brasileiro>. Acesso em: dezembro de 2020.

CNT, 2017. Baixo Investimento em Infraestrutura Prejudica Escoamento da Safra de Grãos. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/imprensa/noticia/falta-investimento-infraestrutura-comprometer-escoamento-supersafra-graos>. Acesso em dezembro de 2020.

CASTRO, CÉSAR NUNES DE., 2017. O agronegócio e os desafios da infraestrutura de transporte na região Centro-Oeste.

COMFORT, L. (1999). Shared Risk: Complex Systems in Seismic Response. Pergamon.Press.

Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, 2018. Acompanhamento da Safra Brasileiro – Milho – Safra. Brasília.

CONAB (COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO), 2015. Acompanhamento da safra brasileira de grãos - Safra 2014-2015. Disponível em: <Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15\\_03\\_11\\_14\\_07\\_48\\_boletim\\_graos\\_marco\\_2015.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_03_11_14_07_48_boletim_graos_marco_2015.pdf)>. Acesso em: 14 mar. 2015. [ Links ]

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES (CNT), 2001. Revista CNT. Brasília, Vários números. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br>>. Acesso em: 8 mar. 2001.

COOK, W. D.; ZHU, J. , 2007. Classifying inputs and outputs in data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 180, n. 2, p. 692-699.

COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K., 2006. Introduction to Data Envelopment Analysis and its use with DEA-solver Software and references. New York: Springer Science + Business Media, Inc.

CORREA, V. H. C.; RAMOS, P., 2010. A precariedade do transporte rodoviário brasileiro para o escoamento da produção de soja do Centro-Oeste: situação e perspectivas. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 48, n. 2, p. 447–472, jun.

CORRÊA, REGIANE LEITE *et al.* 2020. .Análise dos investimentos do PAC em hidrovias na Amazônia brasileira e sua relação com o escoamento da produção. *REVISTA CIÊNCIAS DA SOCIEDADE*, v. 4, n. 7, p. 90-108,

C S HOLLING, 1973. Resilience and Stability of Ecological Systems. **Annual Review of Ecology and Systematics** 1973 4:1, 1-23.

COTTRILL, C.D.; DERRIBLE, S. 2015. Leveraging Big Data for the Development of Transport Sustainability Indicators. **J. Urban Technol.** 22, 45–64.

CRAINIC, T.G., FLORIAN, M., LÉAL, J.-E., 1990. A Model for the Strategic Planning of National 635 Freight Transportation by Rail. **Transp. Sci.** 24, 1–24. <https://doi.org/10.1287/trsc.24.1.1>.

DE MIRANDA PINTO, J. T., MISTAGE, O., BILOTTA, P., & HELMERS, E. (2018). Road-rail intermodal freight transport as a strategy for climate change mitigation. **Environmental development**, 25, 100-110.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT), 2019. Sistema Nacional de Viação (SNV). Disponível em:< <http://www.dnit.gov.br/sistema-nacionaldeviacao/sistema-nacional-de-viacao>> Acesso: abril de 2019.

Dekker, R.; Bloemhof, J.; Mallidis, I., 2012. Operations Research for green logistics – An overview of aspects, issues, contributions and challenges. **Eur. J. Oper. Res.**, 219, 671–679

Dey, A.; Laguardia, P.; Srinivasan, M. Building sustainability in logistics operations: a research agenda. *Manag. Res. Rev.* 2011, 34, 1237–1259.

DE CASTRO CAMIOTO, FLÁVIA, ENZO BARBERIO MARIANO, AND DAISY APARECIDA DO NASCIMENTO REBELATTO, 2014. "Efficiency in Brazil's industrial sectors in terms of energy and sustainable development." **Environmental Science & Policy** 37: 50-60.

DE OLIVEIRA, SILVIO LUIZ, 1999. Tratado de metodologia científica: projetos de pesquisas, TGI, TCC, monografias, dissertações e teses. Pioneira.

DIONÍSIO, E. A.; FREITAS, W. J. De; IGNÁCIO, P. S. de A, 2015. Prospecção de cenários para uma cadeia agroexportadora de soja. *Revista ESPACIOS*, Campinas, v. 36, no 22, p. 1–12. ISSN: 0798-1015.

DOBRANSKYTE-NISKOTA, A.; PERUJO, A.; JESINGHAUS, J.; JENSEN, P., 2009. Indicators to Assess Sustainability of Transport Activities - Part 2: Measurement and Evaluation of Transport Sustainability Performance in the EU27; **European Commission (EC)**: Italy

DOJUTREK, MICHELLE S., SAMUEL LABI, AND J. ERIC DIETZ., 2014. A Multi-Criteria Methodology for Measuring the Resilience of Transportation Assets and Prioritizing Security Investments. In *The Proceedings of the 10th International Conference of the International Institute for Infrastructure Resilience and Reconstruction (I3R2)*, 30-37, edited by Randy R. Rapp and William Harland. West Lafayette, Indiana: Purdue University, May 20-22, 2014 (30-37).

DUBKE, A. F.; PIZZOLATO, N. D., 2011. Location model of specialized terminals for soybean exports in Brazil. **Pesquisa Operacional**, vol 31(1): 21-40.

DUTRA, A., 2003. Metodologia para avaliar e aperfeiçoar o desempenho organizacional: incorporando a dimensão integrativa à MCDA construtivista-sistêmico-sinérgica. Florianópolis, Brasil: UFSC.

DOBRANSKYTE-NISKOTA, A.; PERUJO, A.; JESINGHAUS, J.; JENSEN, P., 2009. Indicators to Assess Sustainability of Transport Activities - Part 2: Measurement and Evaluation of Transport Sustainability Performance in the EU27; **European Commission (EC)**: Italy.

DUI, HONGYAN; ZHENG, XIAOQIAN; WU, SHAOMIN, 2021. Resilience analysis of maritime transportation systems based on importance measures. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 209, p. 107461.

EMPRESA BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES – GEIPOT, 1995. Corredores de transporte; proposta de ações para adequação da infraestrutura e para racionalização do transporte de grãos agrícolas. Brasília: GEIPOT, 1995. 1 v.

ENGSTRÖM, RIKARD, 2010. The swedish green corridor initiative–history, current situation and thoughts about the future. **Transport and the environment**, v. 1868, p. 49, 2010.

ERATH, A. L., 2011. vulnerability assessment of road transport infrastructure. s.l. : **eth zurich**.

EPA, 2019. **Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks 1990-2017**; United States Environmental Protection Agency (EPA): Washington, DC, USA, Vol. 53;.

EPL - EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA, 2014A. Programa de investimentos em logística. Brasília. Disponível em: . Acesso em: mar/2014.

EPL, 2014b, EPL apresenta projetos para o biênio 2014/2015. Disponível em: . Acesso em: jul/2014

- FAN, Y., BEHDANI, B., BLOEMHOF-RUWAARD, J., & ZUIDWIJK, R., 2019. Flow consolidation in hinterland container transport: An analysis for perishable and dry cargo. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, 130, 128-160.
- FATURECHI, R., & MILLER-HOOKS, E., 2014. Measuring the performance of transportation infrastructure systems in disasters: A comprehensive review. **Journal of infrastructure systems**, 21(1), 04014025.
- FERNANDES, M. B., 2001. As Eclusas no Ambiente da Navegação no Brasil, Trabalho de Graduação Interdisciplinar, São Paulo: MACKENZI, 95p.
- FIGUEROA, M.J.; RIBEIRO, S.K., 2013. Energy for road passenger transport and sustainable development: Assessing policies and goals interactions. **Curr. Opin. Environ. Sustain.** 5, 152–162.
- FLEURY, P., 2012. Logística no Brasil: situação atual e transição para uma economia verde; Martins, L., Corrêa, C., Eds.; **Brazilian Foundation for Sustainable Development** - FBDS: Rio de Janeiro, Brazil.
- FLODÉN, J.; WILLIAMSSON, J., 2016. Business models for sustainable biofuel transport: The potential for intermodal transport. **J. Clean. Prod.** 113, 426–437.
- FOTOUHI, H., MORYADEE, S., MILLER-HOOKS, E., 2017. Quantifying the Resilience of an Urban Traffic-electric Power Coupled System. **Reliability Engineering & System Safety**/ Elsevier, 163. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.res.2017.01.026>
- FREITAS, R.E., 2015. Análise do Potencial de Crescimento das Exportações Agropecuárias Brasileiras nos Mercados dos Estados Unidos e da Índia Brasil. Texto para Discussão.
- FRIESZ, T.L., HARKER, P.T., 1983. Multicriteria spatial price equilibrium network design: 657 Theory and computational results. **Transp. Res. Part B Methodol.** 17, 411–426. 658 [https://doi.org/10.1016/0191-2615\(83\)90007-3](https://doi.org/10.1016/0191-2615(83)90007-3)
- FURTADO, P., & FRAYRET, J. M., 2015. Proposal sustainability assessment of resource sharing in intermodal freight transport with agent-based simulation. **IFAC-PapersOnLine**, 48(3), 436-441.
- GAITANIDOU, TSAMI, & BEKIARIS, 2017. A review of resilience management application tools in the transport sector. **Transportation Research Procedia**, Volume 24, 2017, Pages 235-240
- GASPARETTO, V., BORNIA, A. C. e KLIEMANN NETO, F. J., 2003, Análise Crítica de Sistemáticas de Avaliação de Desempenho de Cadeias de Suprimentos. Anais do VIII Congresso del Instituto Internacional de Costos, Punta del Este, Uruguai: IIC.
- GARRIDO, R.A., MAHMASSANI, H.S., 2000. Forecasting freight transportation demand with the 666 space-time multinomial probit model. **Transp. Res. Part B Methodol.** 34, 403–418.
- GIACOMELLO, C. P.; OLIVEIRA, R. L., 2014. Análise Envoltória de Dados (DEA):

uma proposta para avaliação de desempenho de unidades acadêmicas de uma universidade. *Revista da Gestão Universitária da América Latina – GUAL*. Florianópolis, v. 7, n. 2, p. 130-151, mai.

GUIMARÃES, V. DE A.; LEAL JUNIOR, I.C.; DA SILVA, M.A.V., 2018. Evaluating the sustainability of urban passenger transportation by Monte Carlo simulation. **Renew. Sustain. Energy Rev.** 93, 732–752.

GUIMARÃES, V. DE A., 2015. Modelagem matemática para localização-alocação de centros de integração logística considerando as demandas par-a-par. Tese de Doutorado. Dissertação de mestrado em Engenharia de Transportes. PET/COPPE/UFRJ: Rio de Janeiro.

GODOY, P.R.C., 2011. O estado da arte das hidrovias brasileiras. In *Proceedings of the II Fórum Sobre Hidrovia - As hidrovias como fator de desenvolvimento brasileiro*; Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT): DF, Brazil.

GODOY, A. M. De; FROM, D., 2016. A. A cadeia de suprimentos da soja x as perdas na logística de transporte. *Vitrine Produção Acadêmica - Produção de Alunos do Programa de Pós-Graduação - Artigos Científicos*, Curitiba, v. 4, no 1, p. 93–98, 2016. ISSN: 2526-8864.

G1, 2014. Com seca, produtores trocam hidrovia por caminhões e têm prejuízo. Disponível em: [Crise da água \(globo.com\)](http://globo.com). Acesso em: dezembro de 2020.

G1, 2015. Com seca, produtores trocam hidrovia por caminhões e têm prejuízo. Acesso em: 08 ago. 2016.

G1, 2020. Dois suspeitos são presos por roubo de carga de soja e sequestro de motorista em MT. Disponível em: [globo.com](http://globo.com)). Acesso em: dezembro de 2020.

HANSSSEN, THOR-ERIK SANDBERG; MATHISEN, TERJE ANDREAS; JØRGENSEN, FINN., 2012. Generalized transport costs in intermodal freight transport. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 54, p. 189-200.

HAVENGA, J. H., WITTHÖFT, I. E., & SIMPSON, Z. P., 2019. Macrologistics instrumentation: Integrated national freight flow and logistics cost measurement. **Transport Policy**.

HE, ZHIDONG *et al.*, 2021. Robustness assessment of multimodal freight transport networks. *Reliability Engineering & System Safety*, v. 207, p. 107315.

HILMOLA, O.P.; LORENTZ, H.; RHOADES, D.L., 2015. New environmental demands and the future of the Helsinki-Tallinn freight route. *Marit. Econ. Logist.* 17, 198–220.

HOLDEN, R.; XU, B.; GREENING, P.; PIECYK, M.; DADHICH, P., 2016. Towards a common measure of greenhouse gas related logistics activity using data envelopment analysis. **Transp. Res. Part A Policy Pract.** 91, 105–119.

HUGHES, J. F.; HEALY, K., 2014. Measuring the resilience of transport infrastructure. AECOM NEW Zealand Ltd, Wellington, Nova Zelândia. Disponível em: <http://www.nzta.govt.nz/assets/resources/research/reports/546/docs/546.pdf>. Acesso:

16 nov. 2015.

HOSSEINI-NASAB, HASAN; LOTFALIAN, PARISA., 2017. Green routing for trucking systems with classification of path types. **Journal of Cleaner Production**, v. 146, p. 228-233.

IANNONI, ANA PAULA; MORABITO, REINALDO; SAYDAM, CEM., 2011. Optimizing large-scale emergency medical system operations on highways using the hypercube queuing model. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 45, n. 3, p. 105-117.

IBGE, 2017. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 13, Avaliação da Qualidade de Dados Geoespaciais, Coordenação de Cartografia, Rio de Janeiro/RJ, ISBN 978-85-240-4423-6.

IMEA, 2015. Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária - Entendendo o Mercado da Soja. In: Workshop Jornalismo Agropecuário: Uma oportunidade para sua carreira. Cuiabá, Brasil: IMEA.

IMEA, 2016. Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária. Conjuntura econômica. No. 22, April/2016. Cuiabá.

IMEA, 2020. Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária. disponível em: <https://www.imea.com.br/imea-site/relatorios-mercado-detalhe?c=4&s=2> Acesso em: Abril de 2021

IPCC. 2012. Special report on managing extremes and disasters to advance climate change adaptation. Inter-governmental panel on climate change. **Cambridge: Cambridge University Press.**

Inland Navigation Europe, “Water Transport – Facts and Figures”, Brussels: INE, 2006. 14p

JAROSZWESKI, D., HOOPER, E., & CHAPMAN, L., 2014. The impact of climate change on urban transport resilience in a changing world. **Progress in Physical Geography: Earth and Environment**, 38(4), 448–463.

JOHANSON J., MATTSSON LG., 2015. Internationalisation in Industrial Systems — A Network Approach. In: Forsgren M., Holm U., Johanson J. (eds) Knowledge, **Networks and Power**. Palgrave Macmillan, London.

JIANG, YONGLEI, GUANYING QIAO, AND JING LU., 2020. Impacts of the new international land–sea trade corridor on the freight transport structure in China, central Asia, the ASEAN countries and the EU. **Research in Transportation Business & Management** 35: 100419.

JUNIOR, ILTON CURTY LEAL., 2010. Método De Escolha Modal Para Transporte De Produtos Perigosos Com Base Em Medidas De Ecoeficiência. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

KAISER, I.M.; BEZERRA, B.S.; CASTRO, L.I.S., 2013. Is the environmental policies procedures a barrier to development of inland navigation and port management? A case of study in Brazil. **Transp. Res. Part A Policy Pract.** 47, 78–86.

KATHARAKI, M.; KATHARAKIS, G. A, 2010. Comparative assessment of Greek universities' efficiency using quantitative analysis. **International Journal of Educational Research**, Volume 49, Issues 4-5, Pages 115-128, ISSN 0883-0355.

KELLE, P.; SONG, J.; JIN, M.; SCHNEIDER, H.; CLAYPOOL, C., 2019. Evaluation of operational and environmental sustainability tradeoffs in multimodal freight transportation planning. *Int. J. Prod. Econ.* 209, 411–420.

KENGPOL, A.; TUAMMEE, S.; TUOMINEN, M., 2014. The development of a framework for route selection in multimodal transportation. **Int. J. Logist. Manag.** 25, 581–610.

KIM, S.Y., MARLOW, P., 2001. The measurement of efficiency and effectiveness in distribution channels, Seoul. In: Report Presented at the 9th World Conference on **Transport Research**

KOETSE, M. J., & RIETVELD, P., 2009. The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, 14(3), 205-221.

KOETSE, M. J., & RIETVELD, P., 2009. The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, 14(3), 205-221

KOSTE, L. L.; MALHOTRA, M. K., 2000. Trade-offs among the elements of flexibility: a comparison from the automotive industry. **Omega**, v. 28, n. 6, p. 693-710. [http://dx.doi.org/10.1016/S0305-0483\(00\)00027-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0305-0483(00)00027-X)

KOSTE, L. L.; MALHOTRA, M. K, 1999. A theoretical framework for analyzing the dimensions of manufacturing flexibility. **Journal of Operations Management**, v. 18, n. 1, p. 75-93. [http://dx.doi.org/10.1016/S0272-6963\(99\)00010-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0272-6963(99)00010-8)

KOSTE, L. L.; MALHOTRA, M. K.; SHARMA, S., 2004. Measuring dimensions of manufacturing flexibility. **Journal of Operations Management**, v. 22, n. 2, p. 171-196.

KUMAR, AALOK, AND RAMESH ANBANANDAM, 2019. Development of social sustainability index for freight transportation system. **Journal of cleaner production** 210: 77-92.

KUMAR, AALOK, AND RAMESH ANBANANDAM, 2020. Assessment of environmental and social sustainability performance of the freight transportation industry: An index-based approach. **Transport Policy**.

KRUSE, C.J., PROTOPAPAS, A., OLSON, L.E., 2012. A Modal Comparison of Domestic Freight Transportation Effects on the General Public: 2001-2009. U.S. Department of Transportation, Maritime Administration; Arlington, VA: National Waterways Foundation, Washington, DC (2012).

LAVORENTE, G.B., 2011. Caracterização das vias de exportação de soja do estado de Mato grosso. Piracicaba: ESALQ-LOG.

LEAL JUNIOR, I.C., 2010. Modal choice method for transporting hazardous products

based on eco-efficiency measures, Federal University of Rio de Janeiro - UFRJ: Rio de Janeiro, Brazil.

LEAL JR, I. C.; D'AGOSTO, M. A., 2012. Melhoria da Ecoeficiência no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos. Transporte e Transformação XVI, Brasília: Positiva.

LEE, KI-HOON, AND YONG WU., 2014. Integrating sustainability performance measurement into logistics and supply networks: A multi-methodological approach. **The British Accounting Review** 46.4: 361-378.

LEMONS, M. B. MARTINS, R. S., 2006. Corredor Centro-Leste: Sistemas de Transporte de Minas Gerais na Perspectivas dos Eixos de Desenvolvimento e Integração. Belo Horizonte. Disponível em: . Acesso em: 30 set. 2011

LEU, L., ABBASS, H.; CURTIS, N., 2010. Resilience of ground transportation networks: a case study on Melbourne. Publicado em 33rd Australasian Transport Research Forum Conference, Canberra 2010.

LINS, M.P.E.; ANGULO-MEZA, L., 2000. Análise Envoltória de Dados e perspectivas de integração no ambiente de Apoio à Decisão. Rio de Janeiro: Editora da COPPE/UFRJ.

LITMAN, T.; BURWELL, D., 2006. Issues in sustainable transportation. **Int. J. Glob. Environ. Issues**, 6, 331–347.

LITMAN, T.A. WELL MEASURED, 2019. Developing Indicators for Sustainable and Livable Transport Planning; **Canada**.

LIMA, RONEI COELHO DE., 2015. O uso corporativo do território pelo agronegócio e a questão da logística de transportes em Mato Grosso.

MAPA -MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Projeções do Agronegócio 2014/2015 a 2024/2025. Assessoria de Gestão Estratégica -Brasília, julho de 2015. Disponível em: <[www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/PROJECOES\\_DO\\_AGRONEGOCIO\\_2025\\_WEB.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/PROJECOES_DO_AGRONEGOCIO_2025_WEB.pdf)>. Acesso em: 15 set. 2015

MATO GROSSO, 2017. Mato Grosso aprova projeto que institui política de mudanças climáticas. Disponível em: [mt.gov.br](http://mt.gov.br) ([www.mt.gov.br](http://www.mt.gov.br)). Acesso em dezembro de 2020.

MELO, I.C.; ALVES JUNIOR, P.N.; PERICO, A.E.; GUZMAN, M.G.S.; REBELATTO, D.A. DO N., 2018. Benchmarking freight transportation corridors and routes with data envelopment analysis (DEA). **Benchmarking An Int. J.** 25, 713–742.

MTPA E EPL, 2017. Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil e Empresa Planejamento e Logística. In: Anuário Estatístico de Transportes 2010 - 2016. Brasília: MTPA e EPL. Disponível em: <[http://portaldaestrategia.transportes.gov.br/images/Publicações/Sumário\\_Executivo\\_A ET\\_-\\_2010\\_-\\_2016.pdf](http://portaldaestrategia.transportes.gov.br/images/Publicações/Sumário_Executivo_A ET_-_2010_-_2016.pdf)>.

MTPA, 2017. Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil - Transporte Aquaviário. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/transporte-aquaviario-relevancia.html>>. Acesso em: 08/ago./17.

MARIANO, ENZO B.; ALMEIDA, MARIANA R.; REBELATTO, DAISY AN., 2006. Peculiaridades da análise por envoltória de dados. In: Simpósio de Engenharia de Produção. p. 1-11.

MAROUSEK, J., 2013. Use of continuous pressure shockwaves apparatus in rapeseed oil processing. **Clean Technol. Environ. Policy**, 15, 721–725.

MARTIN CHRISTOPHER, HELEN PECK, 2004. Building the Resilient Supply Chain", **The International Journal of Logistics Management**, Vol. 15 Issue: 2, pp.1-14, <https://doi.org/10.1108/09574090410700275>

MASIERO, LORENZO; MAGGI, RICO, 2012. Estimation of indirect cost and evaluation of protective measures for infrastructure vulnerability: A case study on the transalpine transport corridor. **Transport Policy**, v. 20, p. 13-21.

MATARAZZO, D., 2010. Análise financeira de balanços: abordagem básica e gerencial. 7ª Edição. São Paulo: Atlas.

MATTSSON, LARS-GÖRAN; JENELIUS, ERIK., 2015. Vulnerability and resilience of transport systems—a discussion of recent research. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 81, p. 16-34.

MAXIMIANO, A. C., 2000. Introdução à Administração. São Paulo, Editora Atlas.

MEGGINSON, L. C., MOSLEY, D. C., PIETRI JR., P.H., 1998, Administração: Conceitos e Aplicações. 4.ed. São Paulo, Editora Harbra.

MCKINNON, ALAN, 2010. Green logistics: the carbon agenda." **Electronic Scientific Journal of Logistics** 6.1.

MEEROW, S., STULTS, M., 2016. Comparing conceptualizations of urban climate resilience in theory and practice. **Sustainability** 8 (7), 1–16.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES – MT, 2007, Plano Nacional de Logística e Transportes: Sumário executivo. Brasília.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES – MT, 2009, Relatório Executivo PNLT. Brasília.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES – MT, 2012, Projeto de reavaliação de estimativas e metas do PNLT: Relatório Final. Brasília.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES – MT, 2013a, Programa de Aceleração do Crescimento: Ações do MT. Disponível em: . Acesso: 28/mar/2014.

Ministério dos Transportes - MT. Plano Hidroviário Estratégico. 2013

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES – MT, 2013b, Plano Nacional Estratégico Hidroviário: Sumário Executivo. Brasília.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES – MT, 2018, Execução Orçamentária-Financeira. Disponível em: [http://canaldoservidor.infraestrutura.gov.br/images/2019/Documentos/Transportes\\_201](http://canaldoservidor.infraestrutura.gov.br/images/2019/Documentos/Transportes_201)

8\_-\_web.pdf. Acesso: Outubro/2020.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES - MT. Transporte Hidroviário do Brasil. Disponível em: < <http://www2.transportes.gov.br/bit/04-hidro/hidro.html>>. Acesso em 13 de mar. 2015.

Ministério dos Transportes - PHE/MT. Plano Hidroviário Estratégico –. Brasília, 2013 - Disponível em: <http://www.transportes.gov.br>. Acesso em: maio 2018.

MOSTERT, MARTINE, AND SABINE LIMBOURG, 2016. External costs as competitiveness factors for freight transport—a state of the art." **Transport Reviews** 36.6: 692-712.

MOSTERT, MARTINE, AN CARIS, AND SABINE LIMBOURG., 2017. Road and intermodal transport performance: the impact of operational costs and air pollution external costs. **Research in Transportation Business & Management** 23: 75-85.

MOSTERT, MARTINE, AN CARIS, AND SABINE LIMBOURG., 2018. Intermodal network design: a three-mode bi-objective model applied to the case of Belgium. **Flexible Services and Manufacturing Journal** 30.3 (2018): 397-420.

MUÑOZ-VILLAMIZAR, A., SANTOS, J., MONTOYA-TORRES, J. R., & VELÁZQUEZ-MARTÍNEZ, J. C., 2020. Measuring environmental performance of urban freight transport systems: A case study. **Sustainable Cities and Society**, 52, 101844.

MURRAY-TUITE, P. , 2006. A comparison of transportation network resilience under simulated system optimum and user equilibrium conditions. **IEEE Proc., Winter Simulation Conf.**

MONTEREY, CA.MEEROW, S., NEWELL, J. P., STULTS, M., 2016. Defining urban resilience: a review. **Lansc. Urban Plan.**, 147 (2016), pp. 38–49. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.11.011>

NOGUEIRA, F.R., 2002. Políticas públicas municipais para gerenciamento de riscos ambientais associados a escorregamentos em áreas de ocupação subnormal. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 256p.

NUNES, L. H. Mudanças climáticas, extremos atmosféricos e padrões de risco a desastres hidrometeorológicos in População e Mudanças Climática – Dimensões Humanas das Mudanças Ambientais Globais. Campinas: Núcleo de Estudos de População Nepo/Unicamp; Brasília: UNFPA, 2009, p. 53 a 73.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2006. Facing Hazards and Disasters: Understanding Human Dimensions. **National Academy Press**, Washington, DC.

NASCIMENTO, S. DO *et al.*, 2011. Mapeamento dos indicadores de desempenho organizacional em pesquisas da área de Administração, Ciências Contábeis e Turismo no período de 2000 a 2008. *Revista de Administração*, v. 46, n. 4, p. 373–391.

NEELY, A. D.; GREGORY, M. J.; PLATTS, K. W., 1995. Performance measurement

system design: a literature review and research agenda. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 15, nº 4, pp. 80-116.

Neely, Andy, and Jasper Hii., 1998. Innovation and business performance: a literature review. **The Judge Institute of Management Studies, University of Cambridge** : 0-65

NELLTHORP, J.; MACKIE, P.; BRISTOW, A., 1998. Measurement and valuation of the impacts of transport initiatives; **Institute for Transport Studies**, University of Leeds: UK,; Vol. 1,;

NOGAL, MARÍA; HONFI, DANIEL, 2019. Assessment of road traffic resilience assuming stochastic user behaviour. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 185, p. 72-83.

NOTÍCIAS AGRÍCOLAS, 2015. GREVE: Caminhoneiros travam rodovias entre Nova Mutum e Lucas Disponível em: [noticiasagricolas.com.br](http://noticiasagricolas.com.br). Acesso em: dezembro de 2020

NUNES, L. H., 2009. Mudanças climáticas, extremos atmosféricos e padrões de risco e desastres hidrometeorológicos. In: HOGAN, D. J.; MARANDOLA JR., E. (orgs.). População e mudança climática: dimensões humanas das mudanças ambientais globais. Campinas: NEPO/UNICAMP.

OBERHOFER, PETER, AND MARIA DIEPLINGER., 2014. Sustainability in the transport and logistics sector: Lacking environmental measures. **Business Strategy and the Environment** 23.4: 236-253.

OCKWELL, A., 2001. Benchmarking the performance of intermodal transport. **Report. Division of Transport, Organisation for Economic Co-operation and Development**, Paris.

OLIVEIRA, J. G., BORGES, F. H. e JABBOUR, C. C., 2005, Avaliação de desempenho no âmbito da gestão ambiental na organização. In: XII Simpósio de Engenharia de Produção - SIMPEP, 2005, Bauru. XII Simpósio de Engenharia de Produção.

OLIVEIRA, A.L.R. DE; CICOLIN, L. DE O.M., 2016. Evaluating the logistics performance of Brazils corn exports: A proposal of indicators. **African J. Agric. Res.** 11, 693–700.

ORTIZ, D. S., ECOLA, L., WILLIS, H. H., 2009. NCHRP Project 8-36, Task 73: Adding resilience to the freight system in statewide and metropolitan transportation plans: Developing a conceptual approach. **Transportation Research Board**. Disponível em: [http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/docs/NCHRP08-36\(73\)\\_FR.pdf](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/docs/NCHRP08-36(73)_FR.pdf)

OSOGAMI, T., IMAMICHI, T., MIZUTA, H., SUZUMURA, T. IDÉ, T., 2013. Toward simulating entire cities with behavioral models of traffic, **IBM Journal of Research and Development**, v.57 n.5, p.6-6, September 2013.

PALSSON, H.; JOHANSSON, O., 2016. Reducing transportation emissions: Company intentions, barriers and discriminating factors. **Benchmarking An Int. J.** 2016, 23, 674–703.

PAN, SHENLE, ERIC BALLOT, AND FRÉDÉRIC FONTANE., 2013. The reduction

of greenhouse gas emissions from freight transport by pooling supply chains. **International journal of production economics** 143.1 (2013): 86-94.

PÉRA, T.G.; COSTA, E.L.; CAIXETA-FILHO, J.V., 2018. Impactos dos reajustes dos preços de óleo diesel na logística do agronegócio brasileiro no período de janeiro/2017 a maio/2018. Série: Logística do Agronegócio – Desafios e Oportunidades, v.2. Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial (ESALQ-LOG). Piracicaba, SP

PEREIRA, V.B., 2014. Transportes – História, Crises e Caminhos. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira.

PLANT PROJECT, 2018. As principais Hidrovias do Brasil. Disponível em: <http://plantproject.com.br/novo/2018/04/as-principais-hidrovias-do-brasil/>..Acesso em dezembro de 2020.

POMPERMAYER, F. M.; CAMPOS NETO, C. A. da. S.; PAULA, J. M. P., 2014. Hidrovias no Brasil: perspectiva histórica, custos e institucionalidade. IPEA, Texto para Discussão nº 1931.

PORTAL COMEX STAT DO BRASIL. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>. Acesso em: Abril, 2019.

PRATA, J., & ARSENIO, E., 2017. Assessing intermodal freight transport scenarios bringing the perspective of key stakeholders. **Transportation research procedia**, 25, 900-915.

PRAUSE, G., 2014. Sustainable development of logistics clusters in green transport corridors. **J. Secur. Sustain**. Issues 4 (1), 59e68.

P., TAMVAKIS, AND Y., XENIDIS, 2012. Resilience in Transport Systems, **Procedia - Social and Behavioral Sci.**, 48 pp.3441 – 3450.

DNIT. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2014. Relatório de EVTEA da hidrovía do tapajós/teles pires/juruena. Disponível em: . Acesso em: 22 Setembro 2014.

REGMI, MADAN B.; HANAOKA, SHINYA., 2012. Assessment of intermodal transport corridors: Cases from North-East and Central Asia. **Research in Transportation Business & Management**, v. 5, p. 27-37.

REIS, VASCO, *et al.* 2013. Rail and multi-modal transport. **Research in Transportation Economics** 41.1.

RICHARDSON, B.C., 1999. Toward a Policy on a Sustainable Transportation System. **Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board**, 1670, 27–34.

RIPOLL, F. G., 2012 Proposta de uma análise logística no agronegócio como fator competitivo para a distribuição e comercialização da soja em grão no Estado de Mato Grosso. Custos e @gronegócio on line. v. 8, n. 1, jan./mar. 2012. Disponível em: < <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero1v8/soja.pdf> > . Acesso em: 26 fev. 2013.

ROGERS, M.M.; WEBER, W.L., 2011 Evaluating CO2 emissions and fatalities tradeoffs in truck transport. **Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag.** 2011, 41, 750–767.

ROSE, A., 2004 a. Defining and Measuring Economic Resilience to Earthquakes. In Research Progress and Accomplishments, 2003–2004. **Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research**, State University of New York at Buffalo, 2004, pp. 41–54.

ROSE, A. , 2004 b. “Defining and measuring economic resilience to earthquakes. **Disaster Prev. Manage.**, 13(4), 307–314.

ROSE, A., 2006. Economic resilience to disasters: towards a consistent and comprehensive formulation. In: Paton, D., Johnston, D. (Eds.), **Disaster Resilience: An Integrated Approach**. Charles C. Thomas, Springfield, IL.

SAEEDI, H., BEHDANI, B., WIEGMANS, B., & ZUIDWIJK, R., 2019. Assessing the technical efficiency of intermodal freight transport chains using a modified network DEA approach. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, 126, 66-86.

SAHOO, B.K.; LUPTACIK, M.; MAHLBERG, B., 2011. Alternative measures of environmental technology structure in DEA: An application. **Eur. J. Oper. Res.** 215, 750–762.

SAMIMI, AMIR; MOHAMMADIAN, ABOLFAZL; KAWAMURA, KAZUYA, 2010. A behavioral freight movement microsimulation model: method and data. **Transportation Letters**, v. 2, n. 1, p. 53-62.

SÁNCHEZ, L. E, 2008. Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de Textos.

SANTOS, José Teixeira de Araújo Neto et al. Modelo Logístico Hidroviário. 2017.

SANTOS, G.; MAOH, H.; POTOGLU, D.; BRUNN, T., 2013. Von Factors influencing modal split of commuting journeys in medium-size European cities. **J. Transp. Geogr.** 30, 127–137.

SANTOS, A.S.; RIBEIRO, S.K., 2013. The use of sustainability indicators in urban passenger transport during the decision-making process: The case of Rio de Janeiro, Brazil. **Curr. Opin. Environ. Sustain.** 5, 251–260.

SANTOS, A.B.; SPROESSER, R.L., 2013. Caracterização e Avaliação da Eficiência dos Terminais Intermodais Brasileiros. **Gestão Reg.** 29, 47–63.

SEGES, 2009. Melhoria da gestão pública por meio da definição de um guia referencial para medição do desempenho da gestão, e controle para o gerenciamento dos indicadores de eficiência, eficácia e de resultados do programa nacional de gestão pública e desburocratização. Secretaria de Gestão, Ministério do Planejamento, Governo do Brasil. Brasília-DF, p.12.

SELEME, ROBSON *et al.*, 2017. Alternatives for improving the Brazilian soybean logistics index based on the National Logistics and Transportation Plan (PNLT). **custos**

**e agronegocio on line**, v. 13, n. 4, p. 190-210.

SEP – SECRETARIA DE PORTOS, 2012. Plano Nacional de Logística Portuária – Planos Mestres. Brasília.

SERHIY Y. PONOMAROV, MARY C. HOLCOMB, 2009. Understanding the concept of supply chain resilience, **The International Journal of Logistics Management**, Vol. 20 Issue: 1, pp.124-143, <https://doi.org/10.1108/09574090910954873>

SERULLE, U. N., HEASLIP, K., BRADY, B., LOUISELL, W. C., COLLURA, J., 2011, Resiliency of transportation network of Santo Domingo, Dominican Republic: case study, **Transportation Research Record**, 2234, 22–30.

SINCLAIR, J.M., 1992. English Language Dictionary. Harper Collins Publishers, London

SLACK, N., CHAMBERS, S., JOHNSTON, R., 2002, Administração da Produção. 2ª ed. São Paulo, Editora Atlas.

SNELDER, M.; VAN ZUYLEN, H. J.; IMMERS, L. H., 2012. A framework for robustness analysis of road networks for short term variations in supply. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 46, n. 5, p. 828-842.

SOARES, M.M., 2011. A evolução das hidrovias brasileiras visão da CNT. In Proceedings of the 2o Fórum Sobre Hidrovia - As hidrovias como fator de desenvolvimento brasileiro; ANTAQ: Brasília.

SOARES DE MELLO, J.C.C.B.; MEZA, L.A.; GOMES, E.G.; NETO, L.B., 2005. Curso de Análise Envoltória de Dados. Em: XXXVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2005, Gramado. Anais Gramado: Rio Grande do Sul, p.2520- 47.

SOUZA, FELIPE L. U. DE; LEAL, JOSÉ EUGÊNIO, 2015. Panorama do Transporte de Carga no Brasil: Uma visão do ponto de vista dos operadores. ANPET. Disponível em: [www.anpet.org.br/xxixanpet/anais/documents/AC668.pdf](http://www.anpet.org.br/xxixanpet/anais/documents/AC668.pdf) Acesso em: 15 Jul. 2016.

SOUSA JÚNIOR, J. N. C. DE, 2010. Avaliação da eficiência dos portos utilizando Análise Envoltória de Dados: Estudo de caso dos portos da região nordeste do Brasil. Fortaleza, Brasil: Universidade Federal do Ceará.

SOUZA, E. G. DE, ANDRADE, E. O., CÂNDIDO, G. A., 2008. A aplicação das dimensões do desenvolvimento sustentável: um estudo exploratório nos municípios produtores de leite bovino no estado da Paraíba”, *REAd*, edição 61, vol. 14 n° 3 set/dez. FFE, J. F. Administração financeira: Corporate Finance. São Paulo: Atlas, 2002.

STAMOS, 2015. Iraklis et al. Impact assessment of extreme weather events on transport networks: A data-driven approach. **Transportation research part D: transport and environment**, v. 34, p. 168-178.

STEG, L.; GIFFORD, R., 2005. Sustainable transportation and quality of life. **J. Transp. Geogr.** 2005, 13, 59–69.

SPAANS AND WATERHOUT, 2017. Building up resilience in cities worldwide – Rotterdam as participant in the 100 resilient cities programme. **Cities**, 61, pp. 109-116, 10.1016/j.cities.2016.05.011

SLACK, N., 1983. Flexibility as a manufacturing objective. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 3, n. 3, p. 4-13, 1983. <http://dx.doi.org/10.1108/eb054696>.

SLACK, N., 1987. The flexibility of manufacturing systems. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 7, n. 4, p. 35-45, 1987. <http://dx.doi.org/10.1108/eb054798>.

SÓ NOTÍCIAS, 2020. Continua delicada situação de município em Mato Grosso com chuvas intensas. Disponível em: [sonoticias.com.br](http://sonoticias.com.br). Acesso em: 02 de dezembro de 2020.

SOUZA, P. C. T., & WILHELM, V. E., 2009. Uma introdução aos modelos DEA de eficiência técnica. TUIUTI: Ciência e Cultura, (42).

STARR, R., NEWFROCK, J. AND DELUREY, M., 2003. Enterprise resilience: managing risk in the networked economy”, **Strategy and Business**, Vol. 30.

STEG, L.; GIFFORD, R., 2005. Sustainable transportation and quality of life. **J. Transp. Geogr.** 13, 59–69.

SU, J.; ROGERS, M.M., 2012. The role of economic variables and CO2 emissions in examining the efficiency of national transportation systems. **Int. J. Sustain. Transp.** 6, 48–66.

TEIXEIRA, CÁSSIO ADRIANO NUNES *et al.*, 2018. Navegação interior brasileira. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.47 , p. [437]-482.

TOKARSKI, A., 2011, Plano Nacional de Integração Hidroviária – PNIH. In: 2º Fórum sobre hidrovias. Brasília

TURNQUIST, M., & VUGRIN, E., 2013. Design for resilience in infrastructure distribution networks. **Environment Systems & Decisions**, 33(1), 104-120.

USDA, 2018. World Agricultural Production; Cornell University: Washington D.C., USA.

VALDERRAMA, M. E., MONROY, Á. I. C., & BEHRENTZ, E., 2019. Challenges in greenhouse gas mitigation in developing countries: A case study of the Colombian transport sector. **Energy Policy**, 124, 111-122

DE VALOIS, NAYARA AL; CELSO MEDINA, A.; BOTTER, RUI CARLOS, 2012. Potential of short sea shipping in Brazil. **Sustainable Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources**, Taylor & Francis, London.

VAN FAN, Y., PERRY, S., KLEMEŠ, J. J., & LEE, C. T., 2018. A review on air emissions assessment: **Transportation. Journal of cleaner production**, 194, 673-684.

VASCO CORREA, C.A., 2012. Economic evaluation of current conditions of

competition and efficiency of automotive and rail systems in Colombia. **Energy Policy**, 46, 78–87.

VIANNA, G., 2007. O Mito do rodoviarismo brasileiro. 2ª Edição. São Paulo: NTC&Logística, 73 p.

VICTORIA TRANSPORT POLICY INSTITUTE (VTPI), 2017. Evaluating Transportation Resilience: Evaluating the Transportation System's Ability to Accommodate Diverse, Variable and Unexpected Demands with Minimal Risk. TDM Encyclopedia. Disponível em: < <http://www.vtpi.org/tdm/tdm88.htm>>. Acesso em março de 2017.

VTPI (2014) Online TDM Encyclopedia. Instituto de Política de Transportes de Victoria (Victoria Transport Policy Institute - VTPI). Victoria, Canadá. Disponível em: . Acessado em 05 jul. 2015.

WAN, CHENGPENG *et al.*, 2018. Resilience in transportation systems: a systematic review and future directions. **Transport reviews**, v. 38, n. 4, p. 479-498, 2018

WANG, J. Y., EHRGOTT, M., DIRKS, K. N., & GUPTA, A., 2014. A bilevel multi-objective road pricing model for economic, environmental and health sustainability. **Transportation Research Procedia**, 3, 393-402.

WCED Our Common Future, 1987. World Commission on Environment and Development (WCED): USA.

WHO, 2018. Global status report on road safety 2018; **World Health Organization** (WHO): Switzerland.

WIEGMANS, B., & KONINGS, R., 2015. Intermodal inland waterway transport: Modelling conditions influencing its cost competitiveness. **The Asian Journal of Shipping and Logistics**, 31(2), 273-294.

WIŚNICKI, BOGUSZ; DYRDA, ADRIANNA, 2016. Analysis of the intermodal transport efficiency in the Central and Eastern Europe. **NAŠE MORE: znanstveni časopis za more i pomorstvo**, v. 63, n. 2, p. 43-47.

WOODBURN, ALLAN, 2019. Rail network resilience and operational responsiveness during unplanned disruption: A rail freight case study. **Journal of Transport Geography**, v. 77, p. 59-69.

WORLD TRADE ORGANIZATION (WTO), 2011. World Trade Report 2011: Preferential Trade Agreements and the WTO: From Co-existence to Coherence, Geneva: WTO Publications.

WU, H.; DUNN, S.C., 1995. Environmentally responsible logistics systems. **Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag.** 25, 20–38.

XU, ZHAOPING *et al.*, 2020. A new resilience-based component importance measure for multi-state networks. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 193, p. 106591.

YAMADA, Y.; MATUI, T.; SUGIYAMA, M, 1994. New analysis of efficiency based

on DEA. **Journal of the Operations Research Society of Japan**, v. 37, n. 2, p. 158-167, 1994.

YANG, H.; POLLITT, M., 2010. The necessity of distinguishing weak and strong disposability among undesirable outputs in DEA: Environmental performance of Chinese coal-fired power plants. **Energy Policy** 2010, 38, 4440–4444

YANG, XUEJING, JOYCE MW LOW, AND LOON CHING TANG, 2011. Analysis of intermodal freight from China to Indian Ocean: A goal programming approach. **Journal of Transport Geography** 19.4: 515-527.

YUNES, B., 2013. Plano Nacional de Logística Integrada ficará pronto em 2015, diz presidente da EPL. Disponível em: . Acesso em: jul/2014

ZAMPARONI, 2012. Riscos e Desastres Naturais em Ambiente Urbano: O exemplo de cuiabá/mt. Revista Brasileira de Climatologia, [S.l.], v. 10, jun. 2012. ISSN 2237-8642. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/30581/19769>>. Acesso em: 24 nov. 2018.

ZAMPARONI, CLEUSA A. G. P. E NUNES, LUCÍ H. , 2012. Desastres naturais de origem atmosférica e seus impactos em Moçambique. In Guimarães, Solange T. L., Carpi JR., Salvador, Godoy, Manuel B.R.B., Tavares, Antônio C. (organizadores) Gestão de áreas de riscos e desastres ambientais. Rio Claro: IGCE/UNESP/ RIO CLARO/Programa de Pós-Graduação em Geografia. p. 375-404.

ZARKADOULA, M.; ZOIDIS, G.; TRITOPOULOU, E., 2007. Training urban bus drivers to promote smart driving: A note on a Greek eco-driving pilot program. **Transp. Res. Part D Transp. Environ.** 12, 449–451.

ZARY, B. C. DA S., 2015. Procedimento de auxílio ao estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental de projetos de transporte urbano coletivo. Rio de Janeiro, Brasil: IME.

ZHAO, P.; CHAPMAN, R.; RANDAL, E.; HOWDEN-CHAPMAN, P., 2013. Understanding Resilient Urban Futures: A systemic Modelling Approach. **Sustainability**, 5(7), 3202-3223. doi: 10.3390/su5073202.

ZHANG, MO, BART WIEGMANS, AND LORI TAVASSZY., 2013. Optimization of multimodal networks including environmental costs: a model and findings for transport policy. **Computers in industry** 64.2: 136-145.

ZHENG, YUNZHUANG; KIM, AMY M., 2017. Rethinking business-as-usual: Mackenzie River freight transport in the context of climate change impacts in northern Canada. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 53, p. 276-289.

ZIKOPOULOS, C., 2018. Determination of freight rates under stochastic demand and freight consolidation savings. **Int. J. Prod. Res.**1–18.

## APÊNDICE I – VALORES CUSTO DO CENÁRIO 0 (RODOVIÁRIO, FERROVIÁRIO E HIDROVIÁRIO)

Centroides	BARCARENA	SANTANA	IMBITUBA	PORTO DE PARANAGUA	PORTO DE RIO GRANDE	SANTARÉM	SANTOS	SÃO FRANCISCO DO SUL	SÃO LUÍS - PORTO	TACOATIARA	VITÓRIA - PORTO
Alto Garças	320,3	278,4	289,6	226,0	366,8	346,3	196,8	251,8	421,4	422,0	304,9
Brasnorte	258,0	216,1	398,2	334,6	471,0	241,9	311,8	360,4	469,0	345,1	406,7
Campo Novo do Parecis	261,5	219,6	380,6	317,0	447,4	291,1	285,5	342,9	439,3	332,5	419,9
Campo Verde	283,7	241,8	313,2	249,6	393,0	315,9	218,8	275,5	429,5	388,8	355,9
Canarana	293,2	251,3	348,6	285,0	432,3	307,1	246,6	310,9	328,7	438,5	352,5
Diamantino	242,1	200,1	371,8	308,2	415,9	287,3	255,2	334,1	443,6	353,9	412,9
Gaúcha do Norte	276,9	234,9	391,0	323,2	421,5	304,5	265,4	353,2	332,5	418,7	381,0
Nova Mutum	216,4	174,5	361,4	297,9	424,1	257,0	263,6	323,7	400,7	371,3	395,5
Nova Ubiratã	202,3	160,3	388,2	324,6	458,1	275,3	279,1	350,5	376,8	402,2	426,8
Paranaíta	176,2	134,2	447,3	383,7	514,4	160,1	335,3	409,6	328,9	231,5	450,9
Porto Alegre do Norte	284,9	243,0	384,8	321,2	476,1	280,3	296,7	347,0	314,7	477,3	402,3
Primavera do Leste	270,4	228,5	309,7	246,1	370,8	313,8	231,6	272,0	403,4	404,0	347,8
Querência	303,9	261,9	369,4	305,8	452,2	287,8	269,9	331,6	325,8	442,4	375,6
Rondonópolis	302,2	260,2	294,3	230,7	352,2	325,4	218,6	256,6	419,8	400,8	330,7
Rosário Oeste	254,0	212,1	342,1	278,6	400,3	276,9	244,0	304,4	462,2	390,9	373,3
Santa Rita do Trivelato	220,9	179,0	375,1	311,5	440,5	270,7	269,3	337,4	410,9	389,7	410,3
São José do Rio Claro	226,2	184,3	384,1	320,5	434,9	272,9	271,6	346,3	435,1	350,3	420,9
São José do Xingu	265,6	223,6	371,8	308,2	481,1	360,1	312,0	334,1	318,5	451,9	405,4
Sapezal	273,1	231,2	410,9	347,3	463,0	269,9	300,9	373,1	465,7	295,2	419,7
Sinop	169,1	127,2	395,6	332,0	458,5	227,2	297,7	357,8	410,2	380,5	404,4
Sorriso	185,7	143,8	383,6	320,0	446,7	241,7	285,8	345,9	398,2	396,8	421,1
Tangará da Serra	266,3	224,3	358,4	294,8	425,8	300,9	264,0	320,7	450,5	345,4	392,1
Tapurah	216,0	174,1	382,8	319,2	454,5	258,4	284,9	345,0	401,1	395,5	419,8

## APÊNDICE II – VALORES DO CO<sub>2</sub> DO CENÁRIO 0 (RODOVIÁRIO, FERROVIÁRIO E HIDROVIÁRIO)

Centroides	BARCARENA	SANTANA	IMBITUBA	PORTO DE PARANAGUA	PORTO DE RIO GRANDE	SANTARÉM	SANTOS	SÃO FRANCISCO DO SUL	SÃO LUÍS - PORTO	TACOATIARA	VITÓRIA - PORTO
Alto Garças	112,2	106,8	138,9	91,2	153,2	140,2	40,8	119,0	128,6	183,1	87,5
Brasnorte	88,6	83,2	196,1	162,5	208,1	83,2	99,8	176,2	150,7	131,0	153,8
Campo Novo do Parecis	84,1	78,7	186,8	150,0	195,7	112,4	91,6	167,0	137,0	125,2	145,9
Campo Verde	96,8	91,3	151,3	112,2	167,0	122,5	58,4	131,5	132,4	165,7	109,1
Canarana	100,8	95,3	170,0	122,6	187,7	118,4	85,6	150,1	81,8	191,9	114,6
Diamantino	76,6	71,1	182,2	133,6	179,1	104,4	88,5	162,3	138,9	135,1	142,6
Gaúcha do Norte	93,9	88,4	192,3	134,2	182,0	126,6	79,6	172,4	83,4	181,4	127,8
Nova Mutum	66,6	61,2	176,7	138,0	183,4	94,9	80,1	156,9	119,1	143,2	134,6
Nova Ubiratã	61,2	55,8	190,8	155,9	201,3	121,0	101,9	171,0	103,3	157,5	149,1
Paranaíta	52,7	47,2	221,9	185,5	231,0	47,2	116,4	202,1	83,1	72,9	177,0
Porto Alegre do Norte	97,3	91,9	189,0	145,7	210,8	99,4	108,6	169,2	82,5	212,3	137,7
Primavera do Leste	91,1	85,7	149,5	109,4	155,3	121,5	54,3	129,6	120,3	173,7	112,4
Querência	107,3	101,9	180,9	133,2	198,2	109,4	92,5	161,0	77,3	193,9	125,3
Rondonópolis	104,6	99,1	141,4	99,7	145,5	129,1	44,5	121,5	129,3	172,0	98,5
Rosário Oeste	81,2	75,8	166,6	124,9	170,9	109,6	70,2	146,7	147,6	152,3	124,3
Santa Rita do Trivelato	68,4	63,0	183,9	146,6	192,0	98,6	87,5	164,1	116,6	151,7	141,4
São José do Rio Claro	70,4	65,0	188,6	143,5	189,1	98,7	92,2	168,8	135,0	133,5	146,3
São José do Xingu	89,1	83,7	182,2	148,3	213,4	180,6	110,0	162,3	84,1	198,9	139,1
Sapezal	92,3	86,9	202,8	158,2	203,9	95,0	106,4	182,9	149,2	102,4	160,6
Sinop	48,4	42,9	194,7	156,1	201,5	77,0	98,4	174,8	116,2	161,3	152,5
Sorriso	54,8	49,4	188,4	149,9	195,3	83,1	93,7	168,5	111,2	155,0	146,4
Tangará da Serra	89,4	84,0	175,1	138,7	184,3	116,0	78,9	155,3	142,1	131,2	133,0
Tapurah	66,5	61,1	188,0	154,0	199,4	94,2	91,3	168,1	119,2	154,4	145,8

### APÊNDICE III – VALORES DO CUSTO DE ACIDENTE DO CENÁRIO 0 (RODOVIÁRIO, FERROVIÁRIO E HIDROVIÁRIO)

Centroides	BARCARENA	SANTANA	IMBITUBA	PORTO DE PARANAGUA	PORTO DE RIO GRANDE	SANTARÉM	SANTOS	SÃO FRANCISCO DO SUL	SÃO LUÍS - PORTO	TACOATIARA	VITÓRIA - PORTO
Alto Garças	2,1	5,3	6,9	5,6	5,6	3,4	1,4	4,0	6,5	7,7	7,0
Brasnorte	2,7	2,7	9,5	4,4	8,2	2,7	4,1	7,4	9,2	6,8	1,0
Campo Novo do Parecis	4,1	4,0	8,9	4,1	7,8	2,1	3,7	6,8	8,7	6,3	5,0
Campo Verde	3,1	4,5	7,5	6,0	6,1	2,7	2,2	5,0	7,1	7,0	7,0
Canarana	3,3	4,3	8,5	7,0	7,0	2,9	3,7	5,5	8,0	6,9	3,0
Diamantino	3,7	3,7	8,1	4,6	7,6	1,8	3,6	6,0	8,5	6,2	6,0
Gáucha do Norte	4,0	4,7	8,3	6,8	8,1	2,6	3,2	6,1	9,0	6,7	3,0
Nova Mutum	3,3	3,2	8,3	5,0	7,3	1,3	3,2	6,2	8,3	5,5	4,0
Nova Ubiratã	4,6	4,5	9,2	5,6	8,0	1,0	4,3	7,1	8,9	5,2	4,0
Paranaíta	1,0	1,0	10,5	1,7	9,5	1,0	4,9	8,5	10,4	4,3	2,0
Porto Alegre do Norte	3,5	3,4	9,6	7,9	7,9	2,7	4,8	6,6	8,8	7,9	3,0
Primavera do Leste	3,1	4,5	7,0	6,1	6,1	2,4	2,0	4,9	7,0	7,4	7,0
Querência	3,8	3,9	9,0	7,4	7,5	3,2	3,8	6,0	8,5	7,2	3,0
Rondonópolis	2,6	4,8	6,5	5,7	5,7	3,1	1,5	4,4	6,6	7,2	7,0
Rosário Oeste	3,8	3,9	7,7	5,4	6,9	2,0	2,7	5,6	7,8	6,0	6,0
Santa Rita do Trivelato	3,4	3,4	8,7	5,4	7,7	1,4	3,5	6,6	8,6	5,8	4,0
São José do Rio Claro	3,5	3,4	8,6	4,5	7,9	1,5	3,7	6,5	8,8	5,9	4,0
São José do Xingu	4,0	3,9	9,7	7,6	7,6	2,3	4,9	6,7	8,5	8,0	3,0
Sapezal	3,1	3,1	9,3	3,1	8,6	2,5	4,4	7,2	9,5	6,7	5,0
Sinop	2,4	2,4	9,2	5,8	8,2	0,4	4,0	7,1	9,1	4,7	4,0
Sorriso	2,7	2,7	8,9	5,5	7,9	0,7	3,8	6,8	8,8	5,0	4,0
Tangará da Serra	4,2	4,2	8,4	4,4	7,3	2,4	3,1	6,3	8,2	6,6	6,0
Tapurah	3,2	3,2	9,1	5,5	7,9	1,3	3,7	7,0	8,8	5,5	4,0

## APÊNDICE IV – VALORES DO CUSTO DO CENÁRIO 1 (FERROVIÁRIO SUBSTITUÍDO PELO RODOVIÁRIO)

Centroides	BARCARENA	SANTANA	IMBITUBA	PORTO DE PARANAGUA	PORTO DE RIO GRANDE	SANTARÉM	SANTOS	SÃO FRANCISCO DO SUL	SÃO LUÍS - PORTO	TACOATIARA	VITÓRIA - PORTO
Alto Garças	320,3	278,4	289,6	226,0	408,3	346,3	202,8	251,8	453,8	422,0	358,0
Brasnorte	258,0	216,1	398,2	334,6	512,6	241,9	311,8	360,4	501,4	345,1	459,9
Campo Novo do Parecis	261,5	219,6	380,6	317,0	489,0	291,1	285,5	342,9	471,8	332,5	473,1
Campo Verde	283,7	241,8	313,2	249,6	434,5	315,9	218,8	275,5	461,9	388,8	409,0
Canarana	293,2	251,3	348,6	285,0	473,8	307,1	246,6	310,9	361,1	438,5	405,7
Diamantino	242,1	200,1	371,8	308,2	457,4	287,3	255,2	334,1	476,0	353,9	466,1
Gaúcha do Norte	276,9	234,9	391,0	327,4	463,0	304,5	265,4	353,2	364,9	418,7	434,2
Nova Mutum	216,4	174,5	361,4	297,9	465,6	257,0	263,6	323,7	433,1	371,3	448,7
Nova Ubiratã	202,3	160,3	388,2	324,6	499,6	275,3	279,1	350,5	436,5	402,2	480,0
Paranaíta	176,2	134,2	447,3	383,7	555,9	160,1	335,3	409,6	388,6	231,5	504,1
Porto Alegre do Norte	284,9	243,0	384,8	321,2	517,6	280,3	296,7	347,0	364,9	477,3	455,4
Primavera do Leste	270,4	228,5	309,7	246,1	412,3	313,8	231,6	272,0	435,8	404,0	401,0
Querência	303,9	261,9	369,4	305,8	493,7	287,8	269,9	331,6	358,2	442,4	428,8
Rondonópolis	302,2	260,2	294,3	230,7	393,8	325,4	226,9	256,6	479,5	400,8	383,9
Rosário Oeste	254,0	212,1	342,1	278,6	441,9	276,9	244,0	304,4	494,7	390,9	426,5
Santa Rita do Trivelato	220,9	179,0	375,1	311,5	482,0	270,7	269,3	337,4	443,4	389,7	463,5
São José do Rio Claro	226,2	184,3	384,1	320,5	476,4	272,9	271,6	346,3	467,5	350,3	474,1
São José do Xingu	265,6	223,6	371,8	308,2	522,7	360,1	312,0	334,1	368,7	451,9	458,5
Sapezal	273,1	231,2	410,9	347,3	504,5	269,9	300,9	373,1	498,1	295,2	472,8
Sinop	169,1	127,2	395,6	332,0	500,0	227,2	297,7	357,8	442,6	380,5	457,6
Sorriso	185,7	143,8	383,6	320,0	488,2	241,7	285,8	345,9	430,6	396,8	474,2
Tangará da Serra	266,3	224,3	358,4	294,8	467,4	300,9	264,0	320,7	482,9	345,4	445,3
Tapurah	216,0	174,1	382,8	319,2	496,0	258,4	284,9	345,0	433,5	395,5	472,9

## APÊNDICE V – VALORES DO CO<sub>2</sub> DO CENÁRIO 1 (FERROVIÁRIO SUBSTITUÍDO PELO RODOVIÁRIO)

Centroides	BARCARENA	SANTANA	IMBITUBA	PORTO DE PARANAGUA	PORTO DE RIO GRANDE	SANTARÉM	SANTOS	SÃO FRANCISCO DO SUL	SÃO LUÍS - PORTO	TACOATIARA	VITÓRIA - PORTO
Alto Garças	112,2	106,8	138,9	119,0	187,8	140,2	79,2	119,0	200,0	183,1	149,1
Brasnorte	88,6	83,2	196,1	176,2	242,7	83,2	145,5	176,2	222,1	131,0	215,3
Campo Novo do Parecis	84,1	78,7	186,8	167,0	230,3	112,4	137,6	167,0	208,4	125,2	207,4
Campo Verde	96,8	91,3	151,3	131,5	201,6	122,5	100,8	131,5	203,8	165,7	170,6
Canarana	100,8	95,3	170,0	150,1	222,3	118,4	106,1	150,1	153,2	191,9	176,1
Diamantino	76,6	71,1	182,2	162,3	213,7	104,4	134,4	162,3	210,3	135,1	204,1
Gaúcha do Norte	93,9	88,4	192,3	163,6	216,6	126,6	119,3	172,4	154,8	181,4	189,3
Nova Mutum	66,6	61,2	176,7	156,9	218,0	94,9	126,2	156,9	190,5	143,2	196,1
Nova Ubiratã	61,2	55,8	190,8	171,0	235,9	121,0	140,9	171,0	172,3	157,5	210,6
Paranaíba	52,7	47,2	221,9	202,1	265,6	47,2	171,6	202,1	152,1	72,9	238,5
Porto Alegre do Norte	97,3	91,9	189,0	169,2	245,4	99,4	129,1	169,2	140,6	212,3	199,2
Primavera do Leste	91,1	85,7	149,5	129,6	189,9	121,5	100,7	129,6	191,7	173,7	173,9
Querência	107,3	101,9	180,9	161,0	232,8	109,4	116,8	161,0	148,7	193,9	186,8
Rondonópolis	104,6	99,1	141,4	121,5	180,2	129,1	90,3	121,5	198,4	172,0	160,0
Rosário Oeste	81,2	75,8	166,6	146,7	205,5	109,6	115,9	146,7	219,0	152,3	185,8
Santa Rita do Trivelato	68,4	63,0	183,9	164,1	226,6	98,6	133,2	164,1	188,0	151,7	202,9
São José do Rio Claro	70,4	65,0	188,6	168,8	223,7	98,7	138,0	168,8	206,4	133,5	207,8
São José do Xingu	89,1	83,7	182,2	162,3	248,0	180,6	130,6	162,3	142,1	198,9	200,6
Sapezal	92,3	86,9	202,8	182,9	238,5	95,0	152,3	182,9	220,6	102,4	222,1
Sinop	48,4	42,9	194,7	174,8	236,1	77,0	144,2	174,8	187,7	161,3	214,1
Sorriso	54,8	49,4	188,4	168,5	229,9	83,1	138,2	168,5	182,6	155,0	207,9
Tangará da Serra	89,4	84,0	175,1	155,3	218,9	116,0	124,7	155,3	213,5	131,2	194,5
Tapurah	66,5	61,1	188,0	168,1	234,0	94,2	137,5	168,1	190,6	154,4	207,3

**APÊNDICE VI – VALORES DO CUSTO DE ACIDENTE DO CENÁRIO 1 (FERROVIÁRIO SUBSTITUÍDO PELO RODOVIÁRIO)**

Centroides	BARCARENA	SANTANA	IMBITUBA	PORTO DE PARANAGUA	PORTO DE RIO GRANDE	SANTARÉM	SANTOS	SÃO FRANCISCO DO SUL	SÃO LUÍS - PORTO	TACOATIARA	VITÓRIA - PORTO
Alto Garças	10,4	9,5	6,5	5,6	8,8	9,5	4,4	5,6	9,4	14,4	7,0
Brasnorte	9,0	8,0	9,2	8,2	11,4	8,0	7,7	8,2	10,4	12,0	10,1
Campo Novo do Parecis	9,1	8,2	8,7	7,8	10,8	8,2	7,0	7,8	9,7	11,7	9,7
Campo Verde	9,6	8,8	7,1	6,1	9,4	8,8	5,4	6,1	9,5	13,6	8,0
Canarana	8,9	8,7	8,0	7,0	10,4	8,7	6,1	7,0	7,2	14,8	8,2
Diamantino	9,0	8,1	8,5	7,6	10,0	8,1	6,3	7,6	9,8	12,2	9,5
Gaúcha do Norte	9,4	8,5	9,0	7,7	10,1	8,5	6,5	8,1	7,2	14,3	8,9
Nova Mutum	8,2	7,3	8,3	7,3	10,2	7,3	6,5	7,3	8,9	12,5	9,2
Nova Ubiratã	8,0	7,1	8,9	8,0	11,0	7,1	6,9	8,0	8,1	13,2	9,8
Paranaíta	7,0	6,1	10,4	9,5	12,4	6,1	8,3	9,5	7,1	9,2	11,2
Porto Alegre do Norte	8,2	8,8	8,8	7,9	11,5	8,8	7,3	7,9	6,6	15,8	9,3
Primavera do Leste	10,0	9,2	7,0	6,1	8,9	9,2	5,7	6,1	9,0	14,0	8,1
Querência	9,9	9,0	8,5	7,5	10,9	9,0	6,6	7,5	7,0	14,9	8,7
Rondonópolis	9,9	9,0	6,6	5,7	8,4	9,0	4,9	5,7	9,3	13,9	7,5
Rosário Oeste	8,7	7,8	7,8	6,9	9,6	7,8	6,0	6,9	10,2	13,0	8,7
Santa Rita do Trivelato	8,6	7,7	8,6	7,7	10,6	7,7	6,6	7,7	8,8	12,9	9,5
São José do Rio Claro	8,7	7,7	8,8	7,9	10,5	7,7	6,7	7,9	9,7	12,1	9,7
São José do Xingu	7,6	9,4	8,5	7,6	11,6	9,9	7,7	7,6	6,6	15,1	9,4
Sapezal	9,5	8,5	9,5	8,6	11,2	8,5	7,4	8,6	10,3	10,6	10,4
Sinop	7,4	6,5	9,1	8,2	11,0	6,5	7,3	8,2	8,8	13,4	10,0
Sorriso	7,7	6,8	8,8	7,9	10,8	6,8	7,0	7,9	8,5	13,1	9,7
Tangará da Serra	9,3	8,4	8,2	7,3	10,2	8,4	6,5	7,3	10,0	12,0	9,1
Tapurah	8,2	7,4	8,8	7,9	10,9	7,4	7,0	7,9	8,9	13,1	9,7

## APÊNDICE VII – VALORES DO CUSTO DO CENÁRIO 2 (FERROVIÁRIO SUBSTITUÍDO PELO HIDROVIÁRIO)

Centroides	BARCARENA	SANTANA	IMBITUBA	PORTO DE PARANAGUA	PORTO DE RIO GRANDE	SANTARÉM	SANTOS	SÃO FRANCISCO DO SUL	SÃO LUÍS - PORTO	TACOATIARA	VITÓRIA - PORTO
Alto Garças	320,3	278,4	289,6	226,0	328,7	346,3	127,4	251,8	327,7	422,0	237,1
Brasnorte	258,0	216,1	398,2	334,6	432,9	241,9	251,2	360,4	375,3	345,1	339,0
Campo Novo do Parecis	261,5	219,6	380,6	317,0	409,3	291,1	232,0	342,9	345,7	332,5	352,2
Campo Verde	283,7	241,8	313,2	249,6	354,9	315,9	156,4	275,5	335,9	388,8	288,1
Canarana	293,2	251,3	348,6	285,0	394,2	307,1	240,4	310,9	235,1	438,5	284,8
Diamantino	242,1	200,1	371,8	289,6	377,8	287,3	224,4	334,1	350,0	353,9	345,2
Gáucha do Norte	276,9	234,9	391,0	290,9	383,4	304,5	211,1	353,2	238,8	418,7	313,3
Nova Mutum	216,4	174,5	361,4	297,9	386,0	257,0	212,5	323,7	307,1	371,3	327,8
Nova Ubiratã	202,3	160,3	388,2	324,6	420,0	275,3	262,0	350,5	300,8	402,2	359,1
Paranaíta	176,2	134,2	447,3	383,7	476,3	160,1	290,7	409,6	252,9	231,5	383,1
Porto Alegre do Norte	284,9	243,0	384,8	312,6	438,0	280,3	289,1	347,0	250,8	477,3	334,5
Primavera do Leste	270,4	228,5	309,7	246,1	332,7	313,8	145,8	272,0	309,7	404,0	280,0
Querência	303,9	261,9	369,4	288,8	414,1	287,8	233,9	331,6	232,1	442,4	307,9
Rondonópolis	302,2	260,2	294,3	230,7	314,1	325,4	120,3	256,6	343,8	400,8	263,0
Rosário Oeste	254,0	212,1	342,1	278,6	362,2	276,9	187,0	304,4	368,6	390,9	305,6
Santa Rita do Trivelato	220,9	179,0	375,1	311,5	402,4	270,7	222,1	337,4	317,3	389,7	342,5
São José do Rio Claro	226,2	184,3	384,1	308,4	396,8	272,9	233,4	346,3	341,5	350,3	353,2
São José do Xingu	265,6	223,6	371,8	308,2	443,0	360,1	285,9	334,1	254,5	451,9	337,6
Sapezal	273,1	231,2	410,9	336,4	424,9	269,9	267,0	373,1	372,0	295,2	351,9
Sinop	169,1	127,2	395,6	332,0	420,4	227,2	248,0	357,8	316,6	380,5	336,7
Sorriso	185,7	143,8	383,6	320,0	408,6	241,7	236,8	345,9	304,6	396,8	353,3
Tangará da Serra	266,3	224,3	358,4	294,8	387,7	300,9	209,3	320,7	356,8	345,4	324,4
Tapurah	216,0	174,1	382,8	319,2	416,4	258,4	231,3	345,0	307,4	395,5	352,0

## APÊNDICE VIII – VALORES DO CO<sub>2</sub> DO CENÁRIO 2 (FERROVIÁRIO SUBSTITUÍDO PELO HIDROVIÁRIO)

Centroides	BARCARENA	SANTANA	IMBITUBA	PORTO DE PARANAGUA	PORTO DE RIO GRANDE	SANTARÉM	SANTOS	SÃO FRANCISCO DO SUL	SÃO LUÍS - PORTO	TACOATIARA	VITÓRIA - PORTO
Alto Garças	112,2	106,8	138,9	86,2	147,4	140,2	30,2	119,0	116,6	183,1	77,2
Brasnorte	88,6	83,2	196,1	157,5	202,3	83,2	87,2	176,2	138,7	131,0	143,4
Campo Novo do Parecis	84,1	78,7	186,8	145,1	189,9	112,4	79,1	167,0	125,0	125,2	135,5
Campo Verde	96,8	91,3	151,3	107,3	161,2	122,5	45,8	131,5	120,4	165,7	98,8
Canarana	100,8	95,3	170,0	117,7	181,9	118,4	78,3	150,1	69,8	191,9	104,3
Diamantino	76,6	71,1	182,2	128,6	173,3	104,4	75,9	162,3	126,9	135,1	132,3
Gaúcha do Norte	93,9	88,4	192,3	129,3	176,2	126,6	67,0	172,4	71,4	181,4	117,5
Nova Mutum	66,6	61,2	176,7	133,0	177,6	94,9	67,5	156,9	107,1	143,2	124,2
Nova Ubiratã	61,2	55,8	190,8	151,0	195,5	121,0	91,3	171,0	91,7	157,5	138,7
Paranaíta	52,7	47,2	221,9	180,6	225,1	47,2	103,9	202,1	71,5	72,9	166,7
Porto Alegre do Norte	97,3	91,9	189,0	140,8	205,0	99,4	101,5	169,2	72,7	212,3	127,4
Primavera do Leste	91,1	85,7	149,5	104,5	149,5	121,5	41,7	129,6	108,3	173,7	102,1
Querência	107,3	101,9	180,9	128,2	192,4	109,4	79,9	161,0	65,3	193,9	115,0
Rondonópolis	104,6	99,1	141,4	94,8	139,7	129,1	31,9	121,5	117,7	172,0	88,1
Rosário Oeste	81,2	75,8	166,6	120,0	165,1	109,6	57,7	146,7	135,6	152,3	113,9
Santa Rita do Trivelato	68,4	63,0	183,9	141,7	186,2	98,6	74,9	164,1	104,6	151,7	131,1
São José do Rio Claro	70,4	65,0	188,6	138,6	183,3	98,7	79,7	168,8	123,0	133,5	136,0
São José do Xingu	89,1	83,7	182,2	143,4	207,6	180,6	104,4	162,3	74,3	198,9	128,8
Sapezal	92,3	86,9	202,8	153,3	198,1	95,0	93,8	182,9	137,2	102,4	150,3
Sinop	48,4	42,9	194,7	151,2	195,7	77,0	85,8	174,8	104,3	161,3	142,2
Sorriso	54,8	49,4	188,4	144,9	189,5	83,1	81,1	168,5	99,2	155,0	136,1
Tangará da Serra	89,4	84,0	175,1	133,8	178,5	116,0	66,3	155,3	130,1	131,2	122,6
Tapurah	66,5	61,1	188,0	149,0	193,6	94,2	78,8	168,1	107,2	154,4	135,5

**APÊNDICE IX – VALORES DO CUSTO DE ACIDENTE DO CENÁRIO 2 (FERROVIÁRIO SUBSTITUÍDO PELO HIDROVIÁRIO)**

Centroides	BARCARENA	SANTANA	IMBITUBA	PORTO DE PARANAGUA	PORTO DE RIO GRANDE	SANTARÉM	SANTOS	SÃO FRANCISCO DO SUL	SÃO LUÍS - PORTO	TACOATIARA	VITÓRIA - PORTO
Alto Garças	3,4	3,4	6,5	3,6	6,3	5,3	0,4	6,3	4,3	6,8	2,6
Brasnorte	2,7	2,6	9,2	6,9	8,9	2,7	2,9	8,9	5,3	4,4	5,7
Campo Novo do Parecis	2,1	2,1	8,7	6,3	8,3	4,0	2,5	8,3	4,7	4,1	5,4
Campo Verde	2,7	2,6	7,1	4,5	7,0	4,5	0,9	7,0	4,5	6,0	3,6
Canarana	3,0	3,0	8,4	5,2	8,2	4,5	2,5	8,2	1,9	7,6	3,8
Diamantino	1,8	1,7	8,5	5,5	7,5	3,7	2,3	7,5	4,8	4,6	5,2
Gaúcha do Norte	2,7	2,6	9,5	5,7	7,9	4,9	1,7	7,9	2,0	7,1	4,5
Nova Mutum	1,3	1,2	8,3	5,8	7,7	3,2	2,0	7,7	3,9	5,0	4,8
Nova Ubiratã	1,1	1,0	9,4	6,8	8,9	5,5	2,9	8,9	3,1	5,9	5,5
Paranaíta	1,0	1,0	10,4	8,0	10,0	1,0	3,7	10,0	2,2	1,7	6,8
Porto Alegre do Norte	2,8	2,8	9,3	6,3	9,4	3,6	3,7	9,4	2,4	8,6	5,0
Primavera do Leste	2,4	2,4	7,0	4,4	6,4	4,5	0,7	6,4	3,9	6,4	3,8
Querência	3,3	3,3	8,9	5,7	8,7	4,1	2,4	8,7	1,7	7,7	4,4
Rondonópolis	3,1	3,0	6,6	4,0	6,0	4,8	0,3	6,0	4,4	6,3	3,1
Rosário Oeste	2,0	1,9	7,8	5,1	7,2	3,9	1,5	7,2	5,2	5,4	4,3
Santa Rita do Trivelato	1,4	1,3	8,6	6,2	8,2	3,4	2,3	8,2	3,7	5,4	5,1
São José do Rio Claro	1,5	1,4	8,8	6,0	8,0	3,4	2,5	8,0	4,6	4,5	5,4
São José do Xingu	2,4	2,4	9,0	6,4	9,5	8,4	3,8	9,5	2,4	8,0	5,0
Sapezal	2,5	2,4	9,5	6,7	8,7	3,2	3,2	8,7	5,3	3,1	6,0
Sinop	0,4	0,4	9,1	6,6	8,6	2,4	2,8	8,6	3,7	5,8	5,7
Sorriso	0,7	0,7	8,8	6,3	8,3	2,7	2,6	8,3	3,5	5,5	5,4
Tangará da Serra	2,4	2,3	8,2	5,8	7,8	4,2	1,9	7,8	4,9	4,4	4,7
Tapurah	1,3	1,2	8,8	6,5	8,5	3,2	2,5	8,5	3,9	5,5	5,3