



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIAS E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

KATTYLINNE DE MELO BARBOSA

**HIERARQUIZAÇÃO DE INDICADORES DE DESEMPENHO APLICÁVEIS AO
TRANSPORTE DE CARGA DAS HIDROVIAS BRASILEIRAS INTERIORES
VISANDO O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

Recife/PE

2024

KATTYLINNE DE MELO BARBOSA

**HIERARQUIZAÇÃO DE INDICADORES DE DESEMPENHO APLICÁVEIS AO
TRANSPORTE DE CARGA DAS HIDROVIAS BRASILEIRAS INTERIORES VISANDO O
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor(a) em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Transportes e Gestão das Infraestruturas Urbanas.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Herszon Meira

Recife/PE

2024

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Barbosa, Kattylinne de Melo.

Hierarquização de indicadores de desempenho aplicáveis ao transporte de carga das hidrovias brasileiras interiores visando o desenvolvimento sustentável / Kattylinne de Melo Barbosa. - Recife, 2024.

141f.: il.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologias e Geociências, Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil, 2024.

Orientação: Leonardo Herszon Meira.

Inclui referências e apêndice.

1. Transporte Hidroviário de carga; 2. Desenvolvimento Sustentável; 3. Indicadores de desempenho; 4. AHP. I. Meira, Leonardo Herszon. II. Título.

UFPE-Biblioteca Central

KATTYLINNE DE MELO BARBOSA

**HIERARQUIZAÇÃO DE INDICADORES DE DESEMPENHO APLICÁVEIS AO
TRANSPORTE DE CARGA DAS HIDROVIAS BRASILEIRAS INTERIORES VISANDO O
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor(a) em Engenharia Civil. Área de Concentração: Transportes e Gestão das Infraestruturas Urbanas.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

participação por videoconferência
Prof. Dra. Valdete Santos de Araújo (Examinador Externo)
Universidade do Estado do Amazonas – UEA

participação por videoconferência
Prof. Dr. Eliezé Bulhões de Carvalho (Examinador Externo)
Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT

participação por videoconferência
Prof. Dra. Carla Souza Calheiros (Examinador Externo)
Universidade do Estado do Amazonas – UEA

participação por videoconferência
Prof. Dr. Maurício Oliveira de Andrade (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

participação por videoconferência
Prof. Dr. Anisio Brasileiro de Freitas Dourado (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

RESUMO

O propósito desta tese é hierarquizar indicadores de desempenho relevantes para o transporte de carga nas hidrovias brasileiras interiores com ênfase no desenvolvimento sustentável. Para atingir esse objetivo, foram adotadas as seguintes estratégias metodológicas: coleta de dados sobre o cenário hidroviário global e brasileiro, incluindo sua participação na matriz de transportes do país; identificação dos indicadores mais significativos e impactantes para o transporte de carga por vias navegáveis, com foco na sustentabilidade; validação dos indicadores escolhidos por meio de pesquisa com especialistas, aplicação do Método de Apoio à Decisão AHP e análise estatística básica em planilha eletrônica; e evidênciação de que o transporte hidroviário representa a opção mais sustentável e eficiente para reduzir os custos logísticos no Brasil. A pesquisa hierarquizou indicadores de desempenho para o transporte de carga nas hidrovias brasileiras interiores, com foco no desenvolvimento sustentável. Utilizando o Método de Apoio à Decisão AHP, especialistas validaram indicadores por meio de pesquisa e análise estatística em planilha eletrônica. A coesão entre especialistas foi destacada, com uma Razão de Consistência de 7,66%, satisfazendo o estabelecido pelo método AHP. Houve ênfase em questões ambientais, evidenciada principalmente pelo peso atribuído ao indicador global "Meio Ambiente". Os indicadores globais relativos a Infraestrutura, Desenvolvimento Econômico e Portos, tiveram destaque frente aos demais indicadores. Já em relação aos indicadores específicos, o indicador Qualidade da Água e a Emissão de Poluentes no ar, foram identificados como os indicadores mais relevantes entre os 26 indicadores propostos, enfatizando a importância da sustentabilidade ambiental, econômica e social nas hidrovias interiores. Essa constatação alinha-se com as preocupações ambientais destacadas pela ONU por meio dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030. A interrupção da navegação por fatores climáticos ou acidentes, causa atrasos significativos, afetando principalmente a cadeia de suprimentos e a economia, assim como a indisponibilidade da hidrovia pode levar a rotas alternativas menos eficientes, mais extensas e mais caras, aumentando os custos e impactando o meio ambiente. A pesquisa enfatiza ainda a segurança e estabilidade oferecidas pelas hidrovias quando disponíveis, além de abordar a importância da redução de emissões de poluentes visando a sustentabilidade. O volume de carga transportada, a qualidade da água e a preocupação com roubos são destacados também como aspectos relevantes e importantes. O estudo conclui que a hierarquização desses indicadores pode impulsionar a eficiência operacional, a sustentabilidade ambiental, a viabilidade econômico-financeira, a segurança e confiabilidade, assim como a colaboração e o engajamento,

contribuindo para o desenvolvimento sustentável do transporte de carga nas hidrovias brasileiras interiores.

Palavras-chave: Transporte Hidroviário de carga; Desenvolvimento Sustentável; Indicadores de desempenho; AHP.

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to rank relevant performance indicators for freight transport in Brazilian inland waterways with an emphasis on sustainable development. To achieve this objective, the following methodological strategies were adopted: data collection on the global and Brazilian waterway scenarios, including their participation in the country's transport matrix; identification of the most significant and impactful indicators for freight transport by waterways, with a focus on sustainability; validation of the chosen indicators through expert surveys, application of the AHP Decision Support Method, and basic statistical analysis in a spreadsheet; and evidence that waterway transport represents the most sustainable and efficient option to reduce logistics costs in Brazil. The research ranked performance indicators for freight transport in Brazilian inland waterways, with a focus on sustainable development. Using the AHP Decision Support Method, experts validated the indicators through surveys and statistical analysis in a spreadsheet. The cohesion among specialists was highlighted, with a Consistency Ratio of 7.66%, satisfying the criteria established by the AHP method. There was an emphasis on environmental issues, mainly evidenced by the weight attributed to the global indicator "Environment." The global indicators related to Infrastructure, Economic Development, and Ports stood out compared to other indicators. As for specific indicators, the Water Quality indicator and Air Pollutants Emission were identified as the most relevant among the 26 proposed indicators, highlighting the importance of environmental, economic, and social sustainability in inland waterways. This finding aligns with the environmental concerns highlighted by the UN through the Sustainable Development Goals of the 2030 Agenda. The interruption of navigation due to climatic factors or accidents causes significant delays, mainly affecting the supply chain and the economy, and the unavailability of the waterway can lead to less efficient, longer, and more expensive alternative routes, increasing costs and impacting the environment. The research also emphasizes the safety and stability offered by waterways when available, in addition to addressing the importance of reducing pollutant emissions to achieve sustainability. The volume of cargo transported, water quality, and concern with thefts are also highlighted as relevant and important aspects. The study concludes that ranking these indicators can boost operational efficiency, environmental sustainability, economic-financial viability, safety and reliability, as well as collaboration and engagement, contributing to the sustainable development of freight transport in Brazilian inland waterways.

Keywords: Inland Waterway Cargo Transportation; Sustainable Development; Performance Indicators; AHP.

Dedico este trabalho a Deus, meus pais José e Sandra, meu esposo Erick, meus filhos Clara Sophie, Cauã Henry e Chloe Aline, minhas irmãs e sobrinhos e a todos que me incentivaram nesta caminhada.

AGRADECIMENTOS

Desejo expressar minha gratidão inicial a Deus Todo-Poderoso por me permitir alcançar este ponto. Em meio a inúmeros dias desafiadores, reconheço que sem a presença divina em minha vida, não teria conquistado tal trajetória.

Gostaria de estender meus sinceros agradecimentos à minha família, em especial aos meus pais, José e Sandra, com destaque para meu pai, cujo constante estímulo aos meus estudos e esforços para proporcionar-me o melhor conhecimento foram fundamentais.

Às minhas irmãs, Diva e Heloisa, agradeço o apoio fiel e incansável, durante os momentos difíceis, sempre me encorajando a não desistir e transmitindo valiosas lições de caráter.

Ao meu esposo, Erick, expresso minha gratidão pelo apoio incondicional, amor, paciência, amizade e companheirismo ao longo de todo o meu doutorado. Aos meus amados filhos, Clara, Cauã e Chloe, que foram minha inspiração e motivação para concluir esta jornada acadêmica.

Ao Professor Doutor Leonardo Herszon Meira, meu orientador, que agradeço por sua orientação clara e simplificada, além de conselhos valiosos, que foram fundamentais para o desenvolvimento desta tese.

Às Professoras Doutoras Valdete dos Santos e Carla Calheiros, reconheço os princípios acadêmicos transmitidos e o apoio incondicional desde a graduação na Universidade Federal do Amazonas - UFAM.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Transportes da UFPE e aos colegas de turma, expresso minha gratidão pelos ensinamentos valiosos.

Ao amigo Carlos Fabrício Assunção da Silva, do doutorado, e seu parceiro João, agradeço a amizade e companheirismo durante essa jornada.

Àqueles profissionais que pacientemente responderam ao questionário, permitindo a aquisição de dados e a conclusão desta tese, meu sincero agradecimento.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meu profundo reconhecimento.

Aos membros da banca, agradeço a gentileza em aceitar o convite para examinar este trabalho.

*“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar.
Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.*

(Madre Teresa de Calcutá)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Evolução anual do transporte de carga nas vias interiores (T) / 2010-2021	28
Figura 2: Transporte em toneladas nas hidrovias brasileiras	29
Figura 3: Comparativo de capacidade de carga.....	31
Figura 4: Custo de implantação e vida útil.....	32
Figura 5: Aspectos ambientais relevantes	33
Figura 6: Vantagens da Navegação Interior	33
Figura 7: Barragem de Três Gargantas no Rio Yangtze.....	35
Figura 8: Principais vias navegáveis na Índia	36
Figura 9: Rio Volta em Gana	37
Figura 10: Canal de Suez	37
Figura 11: Bacia do rio Mississipi.....	39
Figura 12: Canal do Panamá	39
Figura 13: Principais Rios da Europa.....	40
Figura 14: Hidrovia do Reno	42
Figura 15: Rio Danúbio	43
Figura 16: Cruzamento de hidrovias Mittelland e Elba-Havel	44
Figura 17: Regiões hidrográficas brasileiras	46
Figura 18: Hidrovia Solimões-Amazonas	47
Figura 19: Localização da Hidrovia do Madeira	48
Figura 20: Hidrovia do Sul.....	51
Figura 21: Hidrovia Tocantins-Araguaia.....	52
Figura 22: Hidrovia Paraná-Tietê.....	54
Figura 23: 5 pilares da Agenda 2030	62
Figura 24: ODSs com temática voltada ao THI Sustentável	65
Figura 25: Matriz hierárquica de decisão	86
Figura 26: Fluxograma para composição do AHP	89
Figura 27: Esquema metodológico do trabalho.....	91
Figura 28: Indicadores de Desempenho para as Hidrovias Brasileiras Interiores Sustentáveis	100
Figura 29: Hierarquização dos Indicadores Globais (critérios)	110
Figura 30: Hierarquização dos Indicadores Globais (critérios)	111
Figura 31: Tipos de paralização na Movimentação de carga das hidrovias	114
Figura 32: Formulário aplicado de forma online pelo Google Forms.....	140

Figura 33: Email enviado para realização da pesquisa141

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais mercadorias transportadas nas vias interiores (jan a set/2024).....	29
Tabela 2: Vantagens e desvantagens do modo aquaviário.....	31
Tabela 3: Matriz de Transporte Brasileira.....	56
Tabela 4: Indicadores de Desempenho proposto pelo TCU.....	72
Tabela 5: Indicadores de desempenho propostos pela PIANC.....	74
Tabela 6: Indicadores propostos por Posset et al. (2019).....	75
Tabela 7: Conjunto de trabalhos selecionados e relevantes na literatura.....	77
Tabela 8: Indicadores de sustentabilidade para transporte hidroviário interior.....	78
Tabela 9: Indicadores de desempenho propostos ao trabalho.....	79
Tabela 10: Escala numérica de Saaty.....	86
Tabela 11: Índice Randômico.....	88
Tabela 12: Indicadores de desempenho escolhidos para o trabalho.....	92
Tabela 13: Indicadores Globais e específicos.....	99
Tabela 14: Exemplo de matriz com seus critérios e pesos.....	101
Tabela 15: Resposta dos especialistas para os critérios.....	104
Tabela 16: Resposta dos especialistas para as alternativas 1 a 14.....	105
Tabela 17: Resposta dos especialistas para as alternativas 15 a 26.....	106
Tabela 18: Cálculo da média, desvio-padrão, erros e variações.....	108
Tabela 19: Pesos dos indicadores.....	109
Tabela 20: Indicadores de sustentabilidade selecionados e aplicados as hidrovias interiores.....	132
Tabela 21: Questionário 1 enviado aos especialistas.....	133
Tabela 22: Questionário 2 a enviado aos especialistas.....	137

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

ABAC – Associação Brasileira dos Armadores de Cabotagem
AHP – Analytic Hierarchy Process
AM – Amazonas
AMD – Apoio Multicritério à Decisão
ANA – Agência Nacional de Águas
ANP – Analytic Network Process
ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários
A-vetor – Autovetor
CITAQ – Centro de Informação em Transporte Hidroviário
CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CO₂ – Dióxido de carbono
COP – Conference of the Parties
DEA – Análise Envoltória de Dados
DHSEST/SP – Secretaria Estadual de Transportes de São Paulo
DMUs – Unidades Tomadoras de Decisão
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
ELECTRE – Elimination Et Choice Translation Reality
EPL – Empresa de Planejamento e Logística S.A.
ETC – Estação de Transbordo de Carga
EUA – Estados Unidos da América
FENAVEGA – Federação Nacional das Empresas de Navegação Aquaviária
FEPASA – Ferrovia Paulista S.A.
GEE – Gases de Efeito Estufa
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC – Índice de Consistência
ID – Indicador de Desempenho
INE – Inland Navigation Europe
IR – Índice Randômico
MACBETH – Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique
MAUT – Multiattribute Utility Theory
MCDA – Multiple Critéria Decision Analysis
MPor – Ministério de Portos e Aeroportos

NO_x – Número de oxidação

ODM – Objetivos de Desenvolvimento do Milênio

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU – Organização das Nações Unidas

PIANC – Associação Mundial de Pesquisa para Infraestrutura de Transportes Fluvial

PIB – Produto Interno Bruto

PNIH – Plano Nacional de Integração Hidroviária

PNL – Plano Nacional de Logística

PNLT – Plano Nacional de Logística e Transportes

PNT – Plano Nacional de Transportes

PPA – Plano Plurianual

PROMETHÉE – Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations

RC – Razão de Consistência

RH – Região Hidrográfica

SFV – Sistema Federal

SIGPlan – Sistema de Informações Gerenciais e de Planejamento

SPH – Superintendência de Portos e Hidrovias

T – Tonelada

TCU – Tribunal de Contas da União

THI – Transporte Hidroviário Interior

TIC – Tecnologias de Informação e Comunicação

TKU – Tonelada-quilômetro Útil

UE – União Europeia

VKU – Valor quilômetro útil

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	18
1.1	JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	21
1.2	HIPÓTESE DA PESQUISA	23
1.3	OBJETIVOS	23
1.3.1	Objetivo Geral	23
1.3.2	Objetivos Específicos	23
1.4	ESTRUTURA DA TESE	24
2.	TRANSPORTE HIDROVIÁRIO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	25
2.1	PANORAMA HIDROVIÁRIO.....	25
2.2	VANTAGENS, DESVANTAGENS E COMPARATIVOS	30
2.3	PRINCIPAIS VIAS NAVEGÁVEIS INTERNACIONAIS	34
2.3.1.	Ásia	34
2.3.2.	África.....	36
2.3.3.	América	38
2.3.4.	Europa.....	40
2.4	PRINCIPAIS HIDROVIAS BRASILEIRAS	44
2.4.1.	Regiões Hidrográficas Brasileiras	45
2.5	DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	57
2.5.1	Desenvolvimento Sustentável no setor de transportes	58
2.5.2	Agenda 2030	60
3.	INDICADORES DE DESEMPENHO HIDROVIÁRIO	66
3.1	SELEÇÃO DOS INDICADORES	71
4	MÉTODOS DE APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO	81
5	METODOLOGIA	90
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	104
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	112
	REFERÊNCIAS.....	121

1. INTRODUÇÃO

Segundo Wilmsmeier e Spengler (2015), até os anos 1950, a economia da América do Sul era orientada para a exportação de produtos primários, majoritariamente transportados por vias fluviais e ferroviárias. Com a intensificação do processo de industrialização na segunda metade do século XX, o planejamento público passou a favorecer o setor rodoviário, em detrimento das ferrovias, especialmente nas indústrias pesada e de extração mineral. Como consequência, a rede rodoviária, que é o meio de transporte mais caro para o frete de carga depois do aéreo, passou a movimentar a maior parte das cargas na América do Sul no final do século.

A navegação interior refere-se ao transporte aquaviário realizado em rios, lagos, lagoas e outras hidrovias interiores, que são preparadas para permitir a navegação segura de embarcações adequadas para essas vias. Este tipo de navegação é essencial para o comércio local e regional, especialmente em países em desenvolvimento, onde as hidrovias servem como rotas críticas para o transporte de mercadorias e pessoas. Segundo Costa (2020), o transporte hidroviário interior é responsável por uma parcela significativa da movimentação de cargas, destacando-se pela eficiência e menor impacto ambiental em comparação com outros modos de transporte.

O transporte aquaviário desempenha um papel fundamental na logística do país. Enquanto outros segmentos do transporte sofreram quedas, o transporte aquaviário contabiliza altas na navegação de longo curso, na cabotagem e na navegação interior. Segundo a ANTAQ (2023a), com 15,4 milhões de toneladas movimentadas por meio da navegação interior, o quarto trimestre de 2022 registrou crescimento de 26,28% quando comparado com o quarto trimestre do ano anterior. Esse resultado positivo se deve principalmente pela alta movimentação do milho, escoado das áreas produtivas para os grandes portos litorâneos: foram 6,6 milhões de toneladas de milho movimentadas na navegação interior neste quarto trimestre, um incremento de 78,01% comparado ao mesmo trimestre de 2021.

O transporte de mercadorias e pessoas por vias navegáveis não se compara ao transporte deles por estrada ou ferrovia. Ao longo dos anos, têm-se discutido os diferentes aspectos dessa questão: o desempenho econômico tem sido comparado, as emissões foram calculadas e o risco externo foi estabelecido, mas sempre tratando apenas um aspecto e/ou modalidade de cada vez. De acordo com Van Den Berg e De Langen (2017), o setor de transportes é responsável por aproximadamente 25% das emissões mundiais de dióxido de carbono. E o transporte fluvial é tido como o modo que provoca menores danos ao meio ambiente, assim como, também é

considerado o mais econômico quando comparado aos modos de transporte rodoviário e ferroviário.

Como resultado disso, a avaliação de, por exemplo, a viabilidade econômica do uso da modalidade mais ecológica para uma certa cadeia de transporte não pode ser feita de maneira adequada com facilidade, pois envolve um exame detalhado e multifacetado que não pode ser simplificado facilmente. Essa complexidade exige uma abordagem integrada e a colaboração de especialistas de diversas áreas. Ao mesmo tempo, ao tentar determinar o desempenho do transporte hidroviário, é importante perceber que esta modalidade quase nunca é usada isoladamente, mas faz parte de uma cadeia intermodal, o que requer uma nova abordagem para o problema, em que não só os vários campos de atuação devem ser avaliados em conjunto, mas também toda a cadeia de transporte é avaliada em vez de modos de transporte individuais.

Merege (2011) diz que cabe ao Poder Público, na figura da Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ, acompanhar (normatizar, fiscalizar e incentivar) a prestação de serviços para garantir que estes estejam sendo prestados de forma adequada em consonância com o artigo 28º da Lei Federal nº. 10.233/2001 e o artigo 6º da Lei Federal nº. 8.987/95, ou seja, respeitando os atributos de: regularidade, continuidade, eficiência, segurança, atualidade, generalidade, cortesia e modicidade das tarifas. Dessa forma, é importante reconhecer que não é possível realizar a tomada de decisão - e, por conseguinte, uma boa gestão – sem um conjunto apropriado de informações.

Esses indicadores são úteis para identificar tendências, prever problemas, estabelecendo metas, avaliando soluções e medindo o progresso. Os indicadores selecionados podem influenciar significativamente os resultados da análise. Uma política específica pode parecer benéfica e desejável se avaliada usando um conjunto de indicadores, mas prejudiciais e indesejáveis de acordo com outros. É, portanto, importante que as pessoas envolvidas no planejamento de sustentabilidade entendam as premissas e perspectivas dos indicadores de desempenho que aplicam (LITMAN, 2021).

Embora o progresso tecnológico tenha melhorado nossa qualidade de vida de várias maneiras, também pode agravar muitos problemas, incluindo guerra, opressão, esgotamento de recursos, danos ambientais e alienação social, que ameaçam a qualidade e a própria existência das gerações futuras (LITMAN, 2020).

E com este progresso, e os danos advindos, há necessidade da aplicação de conceitos de sustentabilidade. E de acordo com Litman (2021), uma vez que as atividades econômicas, sociais e ambientais interagem de muitas maneiras, a maioria dos especialistas concordam que a sustentabilidade requer o equilíbrio entre essas várias esferas. Um princípio básico de bom

planejamento é que as decisões individuais de curto prazo devem refletir objetivos estratégicos de longo prazo.

Para o atendimento deste tripé, faz-se necessário a utilização de balizadores às atividades humanas. Isso implica que sistemas de transporte eficazes devem contribuir positivamente para o crescimento econômico, o desenvolvimento social por meio do uso adequado dos recursos naturais e a proteção ambiental (DOBRANSKYTE-NISKOTA et al., 2009).

Quando observado o setor de transporte brasileiro, verifica-se que o mesmo emitiu 196,5 milhões de toneladas (Mt) de CO₂ em 2019, ocasionado pelo acréscimo da demanda por combustíveis. Do conjunto total de emissões estão: Transporte (38%), Geração de eletricidade (10%), Indústria (31%), Produção de combustíveis (11%), Agropecuário (4%) e Residencial, comercial e público (6%). E o transporte fluvial é tido como o modo que provoca menores danos ao meio ambiente, assim como, também é considerado o mais econômico quando comparado aos modos de transporte rodoviário e ferroviário (BARCELLOS, 2020).

E para medir os diversos aspectos do desenvolvimento sustentável, nas últimas décadas vem crescendo a utilização de indicadores. Os indicadores são frequentemente definidos como medidas quantitativas usadas “para ilustrar e comunicar fenômenos complexos de forma simples, incluindo tendências e progresso ao longo do tempo” (DOBRANSKYTE-NISKOTA et al., 2009).

No entanto, apesar do fato de que essas abordagens baseadas em indicadores ou em outras palavras “iniciativas de indicadores” compartilham o mesmo ponto de partida (ou seja, critérios de seleção de indicadores etc.) e o mesmo objetivo final (ou seja, a avaliação do progresso em direção à sustentabilidade do transporte), vários fatores resultam em uma variabilidade significativa, tornando assim o desenvolvimento de novas iniciativas de indicadores abrangentes uma tarefa complexa.

Logo, com o objetivo de alcançar uma decisão mais precisa e eficiente a partir desses indicadores, a tomada de decisão é facilitada com a utilização de Métodos de Apoio Multicritérios à Decisão, onde é um processo que avalia alternativas identificando os critérios de avaliação, solicitando as preferências dos interessados e usando as informações de preferência para construir um modelo que agrega as avaliações de múltiplos critérios das alternativas (CINELLI *et al.* 2020).

A tomada de decisão baseada em análises estruturadas hierarquicamente, demonstram coerência a cada etapa de validação, em seus critérios e níveis, que ao final apontam para alternativa adequada à situação, a depender do objetivo. Com isso, o método AHP - *Analytic*

Hierarchy Process, foi escolhido como metodologia de apoio à tomada de decisão, pois avalia múltiplas alternativas e indica a melhor entre elas em ordem de prioridade, segundo os critérios predefinidos pelo tomador de decisão. Essa metodologia possibilita a formulação de problemas incorporando conhecimento e julgamentos de forma que as questões envolvidas sejam claramente articuladas, avaliadas, discutidas e priorizadas. Uma de suas vantagens é a possibilidade de modelar um problema com dados quantitativos e qualitativos, envolvendo também graus de certeza e incerteza (SAATY e VARGAS, 2001).

E com isso, este trabalho propõe a hierarquização de indicadores de desempenho aplicáveis ao transporte de carga das hidrovias brasileiras interiores, visando o desenvolvimento sustentável. A hierarquização desses indicadores (que atualmente não possui informações sistematizadas), pode contribuir de forma positiva para o transporte hidroviário, pois se torna uma ferramenta de diagnóstico principalmente aos órgãos responsáveis pelas hidrovias, mas também a Agência Reguladora, usuários e qualquer órgão ou ente que tenha interesse em avaliar a qualidade e a sustentabilidade no setor hidroviário.

1.1 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

A infraestrutura de um país por meio de uma matriz de transporte balanceada afeta diretamente na competitividade em relação aos custos e a qualidade dos produtos. Mais que isso, está atrelada ao crescimento econômico do país. Dentre os modos mais utilizados, o Brasil possui uma dependência alta no modo rodoviário, impactando diretamente na composição dos custos. E o modo de transporte hidroviário de carga desempenha um papel fundamental no comércio brasileiro.

Embora o transporte hidroviário de carga desempenhe um papel fundamental no comércio brasileiro, sua participação na matriz de transportes não aumentou significativamente nos últimos dez anos. Vários fatores contribuem para essa estagnação, mesmo diante de um potencial significativo e de recentes melhorias na infraestrutura. Um estudo do MPor (2023), aponta que, apesar do aumento da malha hidroviária e da movimentação recorde de cargas em 2023, a participação do transporte hidroviário ainda é limitada, representando apenas uma fração do total de cargas movimentadas no Brasil.

Além disso, a infraestrutura hidroviária enfrenta desafios como a variabilidade dos níveis dos rios, obstáculos físicos e a necessidade de dragagens constantes, que dificultam a navegação em algumas áreas. A falta de integração com outros modais de transporte e a predominância de rodovias e ferrovias mais desenvolvidas também contribuem para a baixa

participação do transporte hidroviário na logística nacional. Portanto, embora o transporte hidroviário tenha mostrado crescimento em termos absolutos, sua contribuição relativa para o comércio brasileiro permanece limitada devido a essas barreiras estruturais e econômicas.

Para garantir que o sistema funcione em um nível aceitável, se faz necessário o desenvolvimento, validação e implementação de sistemas de medição de desempenho adequados para suas respectivas vias navegáveis interiores, com monitoramento rotineiro e a avaliação delas. Sendo que o modo hidroviário poderia ser melhor utilizado aumentando a sua participação no volume de cargas, desde que investimentos sejam efetuados. Embora estudos recentes indiquem que, embora a insuficiência de investimentos seja um fator relevante, não é o único obstáculo que impede o desenvolvimento do transporte hidroviário no Brasil. Barros *et al.* (2023), aponta que a falta de planejamento estratégico e a burocracia excessiva são entraves significativos para a execução de projetos de infraestrutura hidroviária. Os autores destacam que, apesar da disponibilidade de recursos orçamentários, a ausência de uma gestão eficaz e integrada impede que esses fundos sejam aplicados em melhorias necessárias.

A crescente sobrecarga de capacidade nas redes de transporte ferroviário e rodoviário impõe a necessidade de entender e integrar o transporte hidroviário interior como uma alternativa potencial ao transporte de carga. A gestão dos volumes de transporte futuros é a base para a competitividade econômica de longo prazo. O aumento dos fluxos de mercadorias, juntamente com o aumento do transporte rodoviário, enfatiza o importante papel da navegação hidroviária interior para atender às demandas futuras para atender às necessidades econômicas e ecológicas. Como consequência, as hidrovias interiores e a infraestrutura devem ser avaliadas exatamente para garantir um transporte eficiente, rápido e flexível (POSSET *et al.*, 2009)

Quando um sistema hidroviário interior é avaliado é de grande importância incluir todos os componentes do sistema. Com efeito, a eficácia e a eficiência do sistema hidroviário interior contribuem substancialmente para a competitividade e atratividade global de uma zona industrial. Como resultado, esse aspecto contribui em grande medida para o bem-estar econômico de um país.

A quantificação de indicadores que estão relacionados ao transporte representa um desafio que depende de fatores como disponibilidade e comparabilidade de dados. E para ajudar os tomadores de decisão a alcançarem o progresso rumo ao transporte sustentável, é necessário encontrar indicadores apropriados de diferentes tipos e números que mostram um progresso do ponto de vista do transporte sustentável (ROHÁCS; SIMONGÁTI, 2007). Sendo que eles são cada vez mais considerados ferramentas úteis na medição e avaliação do desempenho da sustentabilidade do transporte em relação às metas e objetivos estabelecidos.

Nesse contexto, se faz importante avaliar o desempenho das hidrovias interiores com enfoque na sustentabilidade, pois além de estabelecer indicadores busca-se resultados e o acompanhamento do processo de trabalho, fornecendo retorno aos gestores, auxiliando no processo de tomada de decisão, e garantindo uma melhor competitividade, sustentabilidade e escoamento da produção para o país.

Diante do exposto, essa tese busca responder à seguinte questão-condutora: Como a hierarquização de indicadores de desempenho pode promover o desenvolvimento sustentável do transporte de carga nas hidrovias interiores brasileiras??

1.2 HIPÓTESE DA PESQUISA

Como hipótese de pesquisa se infere que a utilização de indicadores de desempenho adequadamente hierarquizados é fundamental para a tomada de decisões no transporte hidroviário interior brasileiro, pois permite identificar e superar barreiras à sustentabilidade, resultando em uma gestão mais eficiente e na maximização do potencial desse modo de transporte. A falta de informações classificadas e parâmetros de medição contribui para a subutilização das hidrovias, o que ressalta a necessidade de desenvolver um sistema robusto de avaliação do desempenho sustentável das cargas transportadas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é hierarquizar indicadores de desempenho aplicáveis ao transporte de carga das hidrovias brasileiras interiores, com enfoque no desenvolvimento sustentável.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Identificar os indicadores mais importantes e de impacto para o transporte hidroviário de carga focado no desenvolvimento sustentável;
- b) Fazer a validação dos indicadores escolhidos, através de pesquisa com especialistas; e
- c) Demonstrar que o modo hidroviário é o mais sustentável e eficiente para diminuir os custos logísticos do Brasil.

1.4 ESTRUTURA DA TESE

Para tentar responder ao objetivo e verificar a hipótese da tese, o tema é estudado por meio de análises na literatura a fim de se aprofundar no assunto abordado e tentar encontrar alternativas para solucionar a questão central. Esta tese está estruturada em sete capítulos.

No Capítulo 1 é apresentada a introdução da tese, contextualizando o problema da hierarquização de indicadores de desempenho poder incentivar e melhorar o desenvolvimento sustentável do transporte de carga das hidrovias brasileiras interiores. O Capítulo 2 trata do Transporte Hidroviário e o Desenvolvimento Sustentável, demonstrando um panorama do transporte aquaviário, tanto nacional quanto internacional, assim como a sustentabilidade e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS propostos na Agenda 2030.

No Capítulo 3, se encontra a descritiva dos Indicadores de Desempenho aplicados ao Transporte de carga das Hidrovias Brasileiras interiores com enfoque no desenvolvimento sustentável. No Capítulo 4 estão apresentadas os Métodos de Apoio à Decisão que compõem a descritiva da Hierarquização dos Indicadores de Desempenho.

No Capítulo 5 é apresentada a metodologia proposta para esta tese. O Capítulo 6 apresenta e discute os resultados encontrados. Por fim, o Capítulo 7 traz as conclusões e tece recomendações para trabalhos futuros.

2. TRANSPORTE HIDROVIÁRIO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Neste capítulo é apresentada um panorama hidroviário global e nacional, sua importância global, vantagens e desvantagens, revisão bibliográfica das hidrovias internacionais e brasileiras, , números do setor, matriz de transportes brasileira e questões de desenvolvimento sustentável ligados ao transporte hidroviário.

2.1 PANORAMA HIDROVIÁRIO

Inicialmente é importante definir o que é hidrovia, bem como explicar a diferença entre essa e uma via navegável. Uma via navegável é definida como uma superfície aquática que possui condições naturais de navegabilidade. Estas condições naturais incluem a profundidade adequada, largura suficiente, correnteza moderada e ausência de obstáculos que impeçam a passagem de embarcações. Exemplos típicos de vias navegáveis são alguns trechos de rios e lagos que não necessitam de modificações artificiais para que a navegação seja possível (WANG *et al.*, 2020).

Por outro lado, de acordo com Wang et al. (2020), uma hidrovia é definida como uma rota planejada e utilizada de forma sistemática para a navegação, que proporciona condições de navegabilidade garantida por meio de sinalização, balizamento, limpeza, dragagem e eliminação de pontos críticos. Existem três tipos principais de hidrovias:

1. Rios (fluviais): Utilizados principalmente para navegação interior, conectando áreas dentro de um mesmo país, estado ou cidade. São importantes para a comunicação com áreas remotas e para o transporte de cargas e pessoas (WANG *et al.*, 2020).

2. Lagos (lacustres): Utilizados para transporte em águas de lagos, normalmente em distâncias curtas e dentro de uma mesma área ou entre áreas muito próximas. Este tipo de transporte é eficiente para locais com acessibilidade limitada por terra (CAMPOS NETO *et al.*, 2014).

3. Oceanos (marítimos): Utilizados para viagens de longa distância em águas oceânicas, tanto dentro de um mesmo território (sistema de cabotagem) quanto entre diferentes países e continentes. Este tipo de transporte é amplamente utilizado no comércio internacional para o transporte de mercadorias a granel e pesadas (HOSSAIN *et al.*, 2020).

Além das definições e tipos de hidrovias, é relevante destacar que a navegação interior, que envolve tanto rios quanto lagos, desempenha um papel fundamental no desenvolvimento das economias, ao assegurar uma rede de transporte eficiente e sustentável (INE, 2023).

Os transportes fluvial e lacustre são denominados transporte hidroviário interior ou navegação interior, que é realizada em percurso nacional ou internacional em hidrovias interiores do continente – rios, lagos, canais, lagoas, baías, angras, enseadas e áreas marítimas consideradas abrigadas (CAMPOS NETO *et al.*, 2014; MARINHA DO BRASIL, 2005).

Segundo o Banco Mundial (2019), explorar apenas as condições naturais das vias navegáveis interiores pode diminuir a vantagem competitiva do país ao longo do tempo. A fim de trazer o grande potencial das hidrovias para a realidade, são necessários mais investimentos na estrutura institucional, no fortalecimento do quadro regulamentar e no aperfeiçoamento do quadro de financiamento do setor.

Em adição aos problemas de infraestrutura, a densidade desigual de sistemas hidrográficos, a variabilidade das condições meteorológicas, mudanças significativas em níveis de água e obstáculos à navegação, como bancos de areia e paliteiros (se referem a áreas onde há uma concentração de troncos de árvores submersos ou semi-submersos que dificultam a passagem segura de embarcações), que impedem ou interrompem o transporte temporariamente. Além disso, grande parte da rede fluvial da Europa sofre de problemas de limitações e previsibilidade do projeto. As tendências predominantes no investimento em infraestrutura e decisões nas hidrovias, podem explicar, de forma significativa, o estado da infraestrutura das vias navegáveis interiores (INE, 2023). Cada hidrovia interior tem uma capacidade de carga, que é amplamente determinada pelas condições hidrogeomorfológicas locais, como profundidade, largura e velocidade do fluxo do rio e duração dos eventos de congelamento. As hidrovias interiores são frequentemente modificadas para expandir sua capacidade de carga, em resposta à crescente necessidade de transporte resultante do desenvolvimento socioeconômico das bacias hidrográficas associadas. Tais modificações podem levar a mudanças na geomorfologia do leito do rio e afetar habitats de organismos aquáticos, bem como prejudicar o funcionamento do ecossistema do rio (WANG *et al.*, 2020).

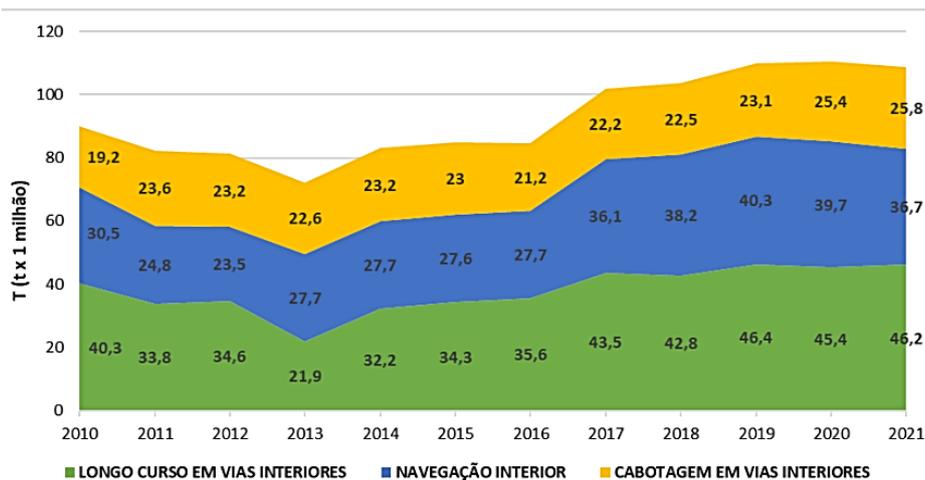
O transporte hidroviário interior tem sido um dos alicerces da rede marítima em muitas economias desenvolvidas e em desenvolvimento. Esses sistemas fornecem inúmeros benefícios para as regiões em que atuam (HOSSAIN *et al.*, 2020).

De acordo com *Inland Navigation Europe* – INE (2023), 520 milhões de toneladas são transportados por vias navegáveis todos os anos na União Europeia, sendo que 53% do tráfego fluvial atravessa fronteiras. Já o Brasil possui um dos maiores sistemas hidroviários do mundo,

sendo composto por importantes rios como o Amazonas, o Paraguai, o Madeira, o Tapajós, o Paraná e o São Francisco, entre outros. Segundo a ANTAQ (2023a), com 15,4 milhões de toneladas movimentadas por meio da navegação interior, o quarto trimestre de 2022 registrou crescimento de 26,28% quando comparado com o quarto trimestre do ano anterior. Esse resultado positivo se deve principalmente pela alta movimentação do milho, escoado das áreas produtivas para os grandes portos litorâneos: foram 6,6 milhões de toneladas de milho movimentadas nas vias navegáveis da navegação interior neste quarto trimestre, um incremento de 78,01% comparado ao mesmo trimestre de 2021. As cinco principais mercadorias movimentadas na navegação interior entre os quartos trimestres de 2021/2022, apresentaram incrementos na comparação com o quarto trimestre do ano anterior, sendo alguns, como do Milho (+78,01%) e da Celulose (+22,02%) (ANTAQ, 2023a).

De acordo com Alvarenga (2020), em 2019 o Brasil movimentou 61% de suas cargas através das rodovias, considerando os TKUs – tonelada-quilômetro útil, movimentados no ano. No mesmo período analisado, 21% das cargas seguiram pelas ferrovias, 12% por cabotagem, 4% por dutos, 2% por hidrovias e menos de 1% por via aérea. As condições de infraestrutura são geralmente consideradas um dos principais obstáculos para maiores uso da navegação interior, o que pode justificar parte dessa subutilização. ANTAQ (2022) afirma que para efeito das estatísticas do modo hidroviário, é importante que se considere a parcela do transporte marítimo (cabotagem e longo curso) que utiliza as vias interiores.

Cabe ressaltar que a navegação de cabotagem definida na Lei Federal nº. 9.432/1997 é a realizada entre portos ou pontos do território brasileiro, utilizando a via marítima ou esta e as vias navegáveis interiores. Ademais, as cargas oriundas ou destinadas a outros países, navegação de longo curso, também podem utilizar as hidrovias interiores brasileiras. Nesse sentido, as vias interiores da região Amazônica dão suporte, além da navegação interior propriamente dita, a fluxos de cargas destinados ou provenientes das navegações de cabotagem e de longo curso, e as hidrovias do Sul, apenas da cabotagem. A Figura 1 demonstra a evolução do transporte na navegação interior, longo curso em vias interiores e cabotagem em vias interiores, em T - tonelada e TKU.

Figura 1: Evolução anual do transporte de carga nas vias interiores (T) / 2010-2021

Fonte: ANTAQ (2022).

Destaque-se que alguns portos marítimos estão localizados nas vias interiores, de modo que as mercadorias neles movimentadas utilizam necessariamente a infraestrutura hidroviária. No âmbito da ANTAQ, convencionou-se denominar o transporte de cabotagem que passa por hidrovia como “Cabotagem em vias interiores”. No ano de 2021, dos cerca de 206 milhões de toneladas transportados pela cabotagem, aproximadamente 25,8 milhões (12,4%) passaram por vias interiores (ANTAQ, 2022). ANTAQ (2022) ainda destaca que os corredores hidroviários brasileiros são determinantes do desenvolvimento dos vetores logísticos nos quais se inserem. O relatório do Plano Nacional de Logística e Transportes – PNLT de 2011, define vetores logísticos como “espaços territoriais brasileiros onde há uma dinâmica socioeconômica mais homogênea sob o ponto de vista de produções, de deslocamentos preponderantes nos acessos a mercados e exportações”. A evolução em toneladas úteis, no período de 2010 a 2021, destaca a participação predominante da hidrovia Solimões-Amazonas, e demonstra um crescimento acentuado na hidrovia do Rio Madeira no biênio 2018/2019, com leve queda no biênio 2020/2021, e um alto decréscimo na hidrovia Tocantins-Araguaia na região Amazônica no biênio 2020/2021, deixando essas duas hidrovias (Madeira e Tocantins-Araguaia) em equivalência no ano de 2021 (ANTAQ, 2022).

Ressalte-se que as hidrovias da região Amazônica – dos rios Solimões-Amazonas, Madeira e Tocantins-Araguaia – se destacam pela representatividade em relação às demais, mesmo a despeito da queda verificada em 2021. Importantes polos econômicos do interior do Brasil, como as capitais Manaus e Belém, bem assim Corumbá/MS, e mesmo Porto Alegre, dependem das hidrovias para o escoamento de cargas, em fluxos de exportação e importação, a custos operacionais significativamente inferiores aos do transporte por outras modalidades.

De acordo com ANTAQ (2023b), a Hidrovia do Amazonas se destacou como a que transportou maior quantidade de carga no ano de 2023, totalizando 81.512.904 toneladas, conforme Figura 2. As principais cargas movimentadas na Hidrovia do Amazonas incluem:

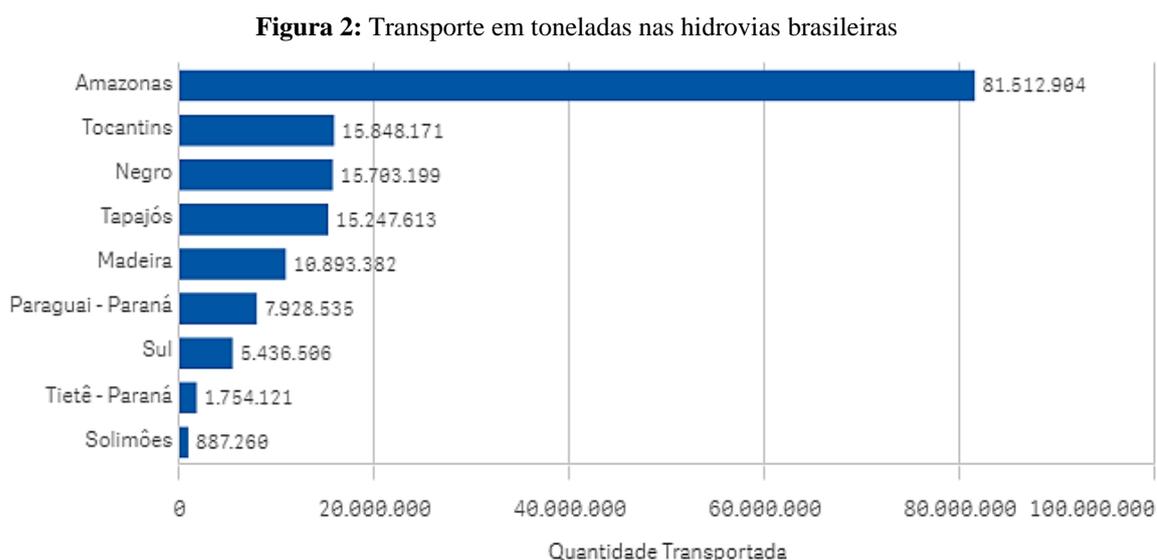
Grãos: A soja e o milho são os mais destacados, com a hidrovia servindo como uma rota crucial para a exportação desses produtos agrícolas.

Celulose e papel: Esses produtos têm grande relevância na economia da região, sendo frequentemente transportados para atender à demanda industrial.

Derivados de petróleo: A hidrovia também é utilizada para o transporte de combustíveis e outros produtos petroquímicos.

Minérios: Bauxita e caulim são exemplos de minérios que são frequentemente movimentados pela hidrovia.

Produtos agrícolas: Além de grãos, outros produtos como borracha e castanha-do-pará também são transportados.



Fonte: ANTAQ (2023d).

Em relação a carga transportada, as vias interiores, transportam diversos tipos de mercadorias, com destaque para soja, milho, bauxita, contêineres e petróleo, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Principais mercadorias transportadas nas vias interiores (jan a set/2024)

Mercadoria	Quantidade Transportada (t)
Soja	29.818.834
Milho	18.617.082

Bauxita	14.655.375
Contêineres	8.899.661
Petróleo e Derivados (Sem Óleo Bruto)	6.797.040
Produtos Químicos Inorgânicos	3.977.171
Adubos (fertilizantes)	3.931.594
Minério de Ferro	2.844.735
Pasta de Celulose	1.406.645
Semirreboque Baú	1.160.944
Soda Cáustica	820.281
Acessórios de Veículos Automóveis	758.888
Madeira	742.452
Resíduos da Extração do Óleo de Soja	715.352
Trigo	653.370
Caulim	615.115
Ferro e Aço	514.858

Fonte: ANTAQ (2024).

Em resumo, o panorama hidroviário brasileiro apresenta um grande potencial para o desenvolvimento do transporte fluvial como um componente crucial da matriz logística do país. Com investimentos adequados e políticas de incentivo, é possível aproveitar ao máximo os recursos hídricos do Brasil, promovendo o crescimento econômico, a inclusão social e a proteção ambiental.

2.2 VANTAGENS, DESVANTAGENS E COMPARATIVOS

Por meio das hidrovias são transportadas grandes quantidades de carga, isso se dá porque o modo hidroviário se apresenta como um modo que possui um significativo baixo custo para o transporte de grandes volumes de carga. O transporte aquaviário é o método de transporte mais barato e funciona em uma via característica e assim não necessita de um grande investimento de capital no desenvolvimento e sustentação de sua via.

O custo da atividade de transporte de água também é extremamente menor. Tem o maior limite de transporte e geralmente é razoável para transportar mercadorias pesadas em longas distâncias. Logo, pode-se destacar algumas vantagens e desvantagens (POTTER, 2020).

As vantagens do transporte aquaviário incluem fatores econômicos e a capacidade de transporte. Segundo Potter (2020), os rios são vias naturais que não necessitam de grandes investimentos em infraestrutura, resultando em menores custos de construção e manutenção. Além disso, o custo operacional do transporte aquaviário é significativamente baixo, tornando-se a opção mais econômica para o envio de itens entre diferentes regiões (Potter, 2020).

Outra vantagem é a enorme capacidade de armazenamento dos navios, que possuem maior limite para transportar grandes quantidades de mercadorias em comparação com outros meios de transporte como trens, caminhões ou aviões (Potter, 2020). Isso possibilita o envio de mercadorias volumosas e pesadas a um custo reduzido.

Contudo, o transporte aquaviário também apresenta algumas desvantagens. A principal delas é a limitação geográfica, já que depende da existência de corpos d'água navegáveis. Além disso, o tempo de transporte pode ser mais longo em comparação com outros métodos, o que pode ser um fator crítico para mercadorias sensíveis ao tempo. Eventualmente, os custos de manutenção do transporte aquático podem aumentar, especialmente se houver a necessidade de dragagem ou outros serviços de manutenção nas hidrovias (Potter, 2020).

De forma resumida a Tabela 2 demonstra as vantagens e desvantagens do Transporte aquaviário.

Tabela 2: Vantagens e desvantagens do modo aquaviário

Vantagens	Desvantagens
Baixo custo de manutenção	Burocracia na emissão de documentos
Melhor transporte para cargas pesadas	Transporte lento devido a programação das embarcações
Meio natural de transporte e causa menos poluição ao meio ambiente	Não é adequado para uma viagem de curta distância
Forma de transporte mais barata em comparação com a estrada e a ferrovia	Caro, para construir as rotas de transporte
Oferece serviço flexível	Necessidade de integração com outro modo de transporte

Fonte: Adaptado de Potter(2020).

Já em termos comparativos de quantidade de carga com outros modos de transporte o transporte hidroviário se destaca com maior capacidade. Enquanto uma barcaça transporta 1.750 toneladas de carga, seriam necessários, para a mesma quantidade, quase 16 vagões no modo férreo ou 70 carretas nas rodovias (Figura 3).

Figura 3: Comparativo de capacidade de carga



Fonte: Adaptado de CORBA (2024).

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. Enquanto o custo médio para implantar uma hidrovia é de um dólar americano por quilômetro, as rodovias e ferrovias custam em média treze dólares por quilômetro (BARBOSA *et al.*, 2015).

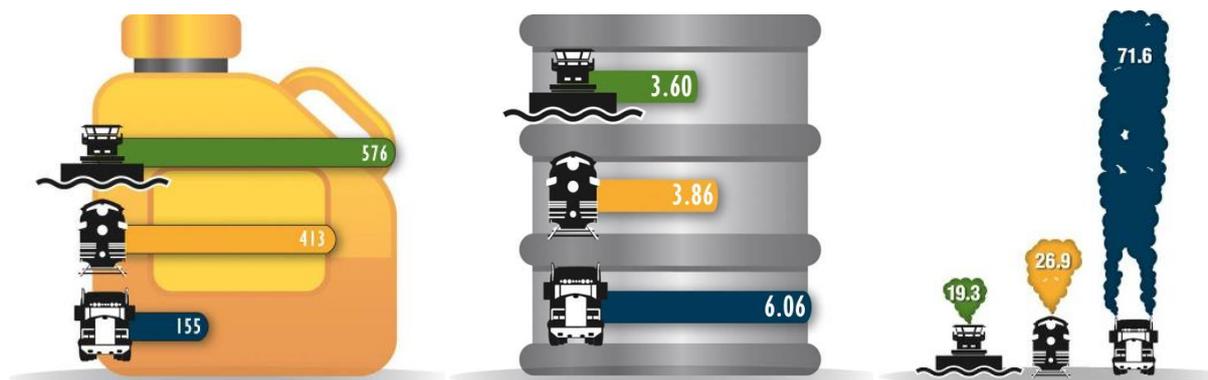
De acordo com FIEP (2017), no que diz respeito ao custo de implantação de infraestrutura desses modos, a hidrovia é novamente a forma mais econômica (Figura 4). Enquanto o custo médio de implantação para o modo rodoviário é de US\$ 440.000/Km, para o modo Hidroviário o custo médio é em torno de US\$ 34.000/Km, o que representa quase 13 vezes a menos do custo rodoviário. O modo Hidroviário apresenta uma vida útil da Infraestrutura alta, se comparado com o Modo Rodoviário que apresenta vida útil baixa.

Figura 4: Custo de implantação e vida útil



Fonte: FIEP (2017).

Em relação aos aspectos ambientais para o transporte de carga, as hidrovias aparecem como uma ótima alternativa (Figura 5). O resultado da comparação entre os modos rodoviário, ferroviário e hidroviário aponta que, de forma geral, este modo apresenta maior eficiência energética, sendo quase 4 vezes maior que o modo rodoviário o número de milhas que 1 tonelada pode ser transportada por 1 galão de combustível. A taxa de derramamentos em galões por milhão de toneladas-milha se apresenta quase a metade se comparado ao modo rodoviário, assim como o transporte por barcaças emite significativamente menos dióxido de carbono (CO₂) do que as ferrovias e caminhões.

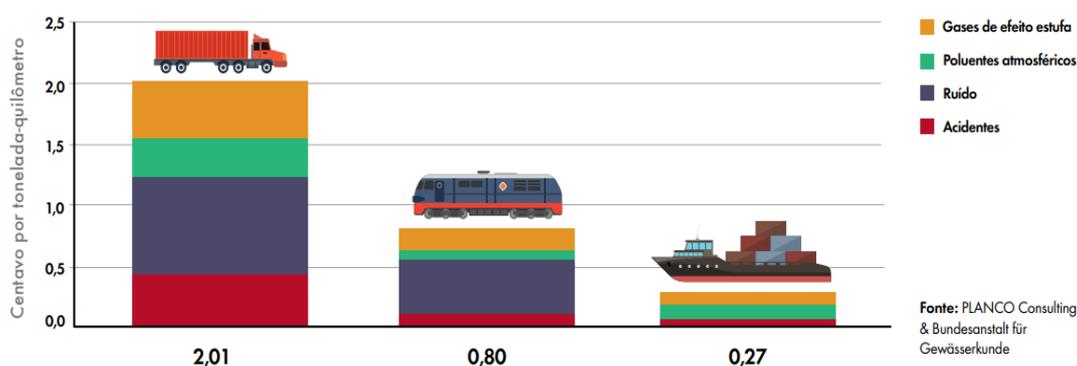
Figura 5: Aspectos ambientais relevantes

Fonte: Adaptado de CORBA (2024).

Além de ser um instrumento de transporte econômico, as hidrovias representam por suas características específicas, um ganho no aproveitamento múltiplo dos cursos d'água e um fator determinante para o desenvolvimento de atividades industriais, agrícolas, turísticas e de urbanização e saneamento (ANTAQ, 2010).

O transporte por hidrovias tem como vantagens a grande capacidade de carga e o baixo custo de tonelada transportada por unidade de distância. Por isso, é o modo mais adequado ao transporte de produtos de menor valor agregado, como soja e milho. Ampliar a capacidade de movimentação das vias navegáveis e adequar estruturas localizadas nelas são medidas necessárias para aumentar a eficiência do modo (DE BARROS *et al.*, 2019).

Em todos os comparativos entre os modos, o hidroviário sempre possui o maior custo-benefício, quer seja em capacidade de carga, meio ambiente, custo de implantação etc. Quando visto as vantagens da navegação por meio das Hidrovias Interiores, o Instituto de Engenharia (2018) faz a comparação com os modos rodoviários, ferroviários e Navegação Interior (Figura 6).

Figura 6: Vantagens da Navegação Interior

Fonte: PIANCO (2018).

2.3 PRINCIPAIS VIAS NAVEGÁVEIS INTERNACIONAIS

Atualmente no mundo existem cerca de 623.000 km de hidrovias navegáveis, em sua maioria compostas de sistemas fluviais (redes de rios e bacias hidrográficas interconectadas). A China é o país com a maior rede de hidrovias navegáveis, seguida por Rússia, Brasil e Estados Unidos da América (EUA). As principais redes de transporte fluvial são as do Yangtze, do Reno-Danúbio e do Mississippi; sendo importante ressaltar os Canais do Panamá, ligando o Oceano Atlântico ao Pacífico por meio de 82 km, e de Suez, ligando o Mar Mediterrâneo ao Mar Vermelho por meio de 193 km de extensão no Egito (BARBOSA *et al.*, 2023).

2.3.1. Ásia

No continente asiático, devido à grande diversidade natural, há muitos rios navegáveis, mas devido ao subdesenvolvimento da população no interior do continente, a utilização das hidrovias tem um caráter mais social do que econômico, sendo usado, principalmente, para irrigação (CITAQ, 2013).

No caso da Rússia, apesar da maior parte do seu território pertencer ao continente asiático, a maioria da população do país vive na região europeia. De acordo com Nokelaynen (2018), as vias navegáveis da Federação Russa estendem-se ao longo de cerca de 101,7 mil km, com mais de 130 portos fluviais em operação. Um único sistema de águas profundas da parte europeia da Rússia pertence às vias navegáveis interiores de importância internacional. As principais artérias aquáticas deste sistema são os rios Volga, Kama, Don e Neva, bem como os canais Volga-Don, Volga-Báltico e Moscou. O sistema se estende por cerca de 6,5 mil km com lâmina d'água garantida de 3,6 m.

Segundo Nokelaynen (2018), no geral, as hidrovias interiores estão conectando 64 regiões da Federação Russa, onde reside 80% da população total do país e até 90% do Produto Interno Bruto (PIB) é produzido. Além disso, o transporte hidroviário interior desempenha um papel importante no suporte de vida de áreas de difícil acesso do Extremo Norte e localidades equiparadas. E em 2017, 118,6 milhões de toneladas de cargas foram transportadas pelos rios. Em 1980, o volume de negócios do transporte hidroviário interior ascendeu a 481 milhões de toneladas e era comparável ao transporte rodoviário.

Já na China, o rio Yangtze, com 6.380 km de comprimento, é o mais longo do país e o terceiro mais longo do mundo. Com mais de 3.600 ramais, oferece um total de 65.000 km de

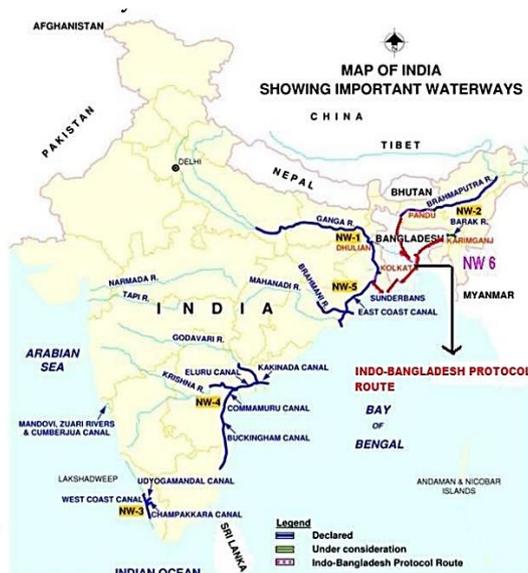
hidrovias, mais da metade da rede de navegação interior do país. Este rio também denominado de via navegável dourado da China, possui enormes benefícios econômicos nacionais e regionais logísticos. Este vasto sistema facilita a movimentação de mercadorias ao longo de grandes distâncias dentro do país, contribuindo para a eficiência do transporte e a redução de custos logísticos. Ele relata os recentes projetos de melhoria do canal na linha principal, incluindo a barragem de Três Gargantas (Figura 7) e grandes obras no estuário, que aumentaram significativamente tanto a confiabilidade quanto a capacidade – e resultaram em um estímulo direto ao crescimento econômico (PENG; SHUAI; XIN, 2010).

Figura 7: Barragem de Três Gargantas no Rio Yangtze



Fonte: Zheng Jiayu/Xinhua (2020).

A Índia tem uma extensa rede de rios, lagos e canais, que, se desenvolvido para transporte e navegação, pode fornecer recursos de conectividade interior. A Índia tem aproximadamente 14.500 km de vias navegáveis (PRAVEEN; JEGAN, 2015). Segundo Praveen e Jegan (2015), a Índia ocupa o 9º lugar no mundo em termos de vias navegáveis potenciais, o comprimento de hidrovias junto com seu comprimento navegável é um indicador do potencial hídrico interior de um estado (Figura 8).

Figura 8: Principais vias navegáveis na Índia

Fonte: Praveen e Jegan (2015).

O comprimento máximo das vias navegáveis está no estado indiano de Assam seguido por Bengala Ocidental. No entanto, a razão entre o comprimento navegável e o comprimento total do rio/canal reflete melhor o potencial de transporte nas hidroviárias. Outros estados com boas perspectivas de transporte hidroviário interior são Goa, Maharashtra e Bihar, onde o comprimento navegável das vias navegáveis é de 90,84, 73,22 e 62,4%, respectivamente, do comprimento total dos rios/terras/lagos relatados por esses estados. Quatorze estados relataram o comprimento do rio, bem como o comprimento navegável de 137 rios. Estes 137 rios têm extensão total de 28.511 km, dos quais 45,83% são navegáveis. Algumas das fontes importantes de vias navegáveis, rios e canais na Índia são o Rio Ganga, Rio Brahmaputra, Remansos de Kerala, Hidroviárias de Goa, Hidroviárias de Mumbai e Hidroviárias Nacionais (PRAVEEN; JEGAN, 2015).

2.3.2. África

Na África acontece o mesmo que no continente asiático. Apesar de apresentarem vias navegáveis numa grande extensão, devido ao baixo nível socioeconômico, estes rios não têm importância significativa na navegação fluvial e são eles: Rio Nilo, Niger, Zambeze e Congo.

Em Gana, o Lago Volta, também conhecido como Rio Volta, além de ser a principal fonte de água para abastecer a maior barragem hidrelétrica de Gana; a barragem de Akosombo, também é o principal meio de transporte através do qual mercadorias e pessoas se movimentam de um ponto a outro nas águas interiores de Gana (Figura 9). É o principal rio navegável de

Gana, originário das terras altas de Bobo-Dioulasso, e cobre uma área de 8.482km², tornando o lago o maior lago artificial do mundo em relação à área de superfície . Entre os principais produtos transportados estão: inhame, pescado, cacau e outros produtos agrícolas como abacaxi, caju, manga, banana e carité. Além disso, o Rio Volta também é usado para o transporte de veículos e materiais de construção (SOLOMON *et al.*, 2021).

Figura 9: Rio Volta em Gana



Fonte: Solomon *et al.* (2021).

Um destaque, porém, é o Canal de Suez (Figura 10), tendo todo o seu trajeto ao nível do mar, portanto, não sendo necessária a construção de eclusas. O Canal de Suez é uma via artificial que conecta os Mares Mediterrâneo e Vermelho. Situada na Península do Sinai, em território egípcio, esta abertura permite o trânsito naval entre a Europa e a Ásia e corresponde a uma das mais importantes vias navegáveis do mundo. A conexão entre os dois continentes sem a necessidade de tráfego nos Oceanos Atlântico Sul e Índico corresponde a uma redução de viagem de quase 9 mil quilômetros (RODRIGUES, 2021).

Figura 10: Canal de Suez



Fonte: Mar Sem Fim (2017).

2.3.3. América

Segundo Barbosa *et al.* (2021), no continente americano, algumas das vias navegáveis mais importantes incluem:

Sistema do Rio Mississippi – localizado nos Estados Unidos, conecta o interior do país ao Golfo do México e ao Oceano Atlântico.

Eclusas do São Lourenço - conecta os Grandes Lagos ao Oceano Atlântico, facilitando o transporte entre o Canadá e a Europa.

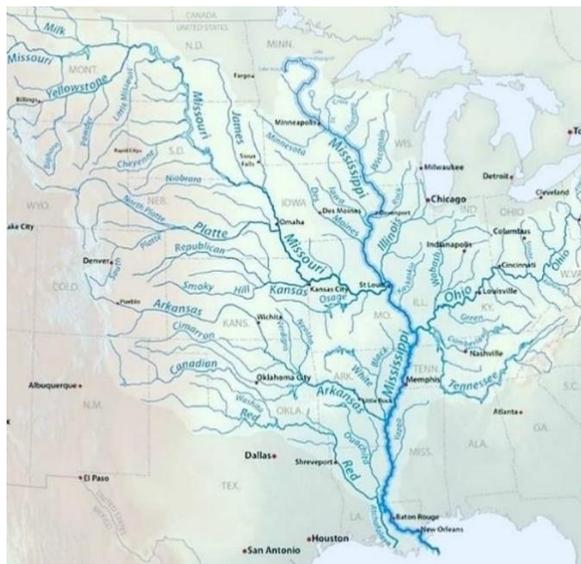
Rio Amazonas - no Brasil, é a maior hidrovia do mundo em volume de água e conecta várias regiões do país.

Rio Paraná - na Argentina e Brasil, é uma via importante para o transporte de grãos e outros produtos agrícolas.

Rio Orinoco - na Venezuela, é uma via crucial para o transporte de petróleo e outros produtos.

O Rio Mississippi, atravessa uma planície fértil muito aproveitada para a exportação agrícola, se tornando o meio de transporte mais importante destinada ao abastecimento da agroindústria local. O Mississippi tem a terceira maior bacia hidrográfica do mundo (Figura 11), superada em tamanho pelas bacias do Amazonas e do Congo. Esta importante fonte de água atravessa o território norte-americano no sentido norte-sul. Por esta característica foi de fundamental importância no processo de ocupação do país. Aliás, na segunda metade do século XIX foram criados os barcos a vapor, que logo se tornou indispensável no fluxo comercial desenvolvido nos Estados Unidos (ALMEIDA, 2012).

Os rios Missouri e Ohio são volumosos e são os principais afluentes do Mississippi. Esses afluentes se encontram e no ponto de confluência às vezes ocorrem inundações significativas e para evitar danos em algumas áreas urbanas e rurais, são construídos barragens e reservatórios de proteção, mesmo assim, às vezes as inundações rompem as barreiras construídas dessa maneira.

Figura 11: Bacia do rio Mississippi

Fonte: Geografia News (2019).

Segundo Barbosa *et al.* (2015), o Canal do Panamá (Figura 12), pode ser considerado também uma das hidrovias mais importantes do mundo, ligando o Oceano Atlântico ao Pacífico por meio de 82 km. É um ponto estratégico e militar importantíssimo para os Estados Unidos, revolucionando o transporte marítimo no ano de 1914, quando foi inaugurado e desde então cerca de 920 mil viagens já foram completadas, num tempo médio de 9 horas.

Figura 12: Canal do Panamá

Fonte: Pan Canal (2024).

O canal tem dois grupos de eclusas no lado do Pacífico e um no lado do Atlântico, nesta, com portas de aço das eclusas triplas de Gatún que chegam a 21 metros de altura e pesam 745 toneladas cada uma. O funcionamento das eclusas no Canal do Panamá consiste em, ao entrar

em uma das eclusas de Gatún, a água é bombeada para dentro dos diques, que se enchem e elevam a embarcação até o lago Gatún, 26 metros acima do nível do mar. O navio segue pelo lago até chegar nas eclusas de Pedro Miguel, que se esvaziam até se igualarem ao nível do lago Miraflores, 16,5 metros acima do nível do mar e 9,5 metros abaixo no nível anterior. No lago Miraflores, a embarcação trafega até chegar nas eclusas de Miraflores, que reduzem ainda mais o nível da embarcação até atingir o nível do mar, nas proximidades da capital do país, a Cidade do Panamá, no Oceano Pacífico (BARBOSA *et al.*, 2015).

2.3.4. Europa

Custo-benefício, segurança e respeito ao meio ambiente são as principais características do transporte hidroviário interior. A União Europeia enfatiza a redução do congestionamento do tráfego, o aumento da segurança no trânsito, o uso de modos de transporte ecologicamente corretos e o uso de combustíveis alternativos como objetivos de sua política de transporte. O transporte hidroviário interior desenvolvido é, portanto, uma das possíveis soluções para o alcance desses objetivos. A União Europeia (EU), possui cerca de 40.000 km de vias navegáveis e 13 Estados-Membros possuem uma rede hidroviária interligada (Figura 13), o que representa um grande potencial para o desenvolvimento deste modo de transporte (ČINČURAK ERCEG, 2019).

Figura 13: Principais Rios da Europa



Fonte: Eurocat (2018).

Alguns dos principais rios e sistemas fluviais que compõem as hidrovias na Europa incluem (ČINČURAK ERCEG, 2019):

- “Rio Reno: o Reno é um dos rios mais importantes da Europa para o transporte de mercadorias. Ele flui desde os Alpes suíços até o Mar do Norte, passando por países como Suíça, Alemanha, França e Países Baixos. O Reno é amplamente utilizado para o transporte de contêineres, produtos agrícolas, petróleo e outros produtos”.
- “Rio Danúbio: o Danúbio é o segundo rio mais longo da Europa e atravessa vários países do continente, incluindo Alemanha, Áustria, Eslováquia, Hungria, Croácia, Sérvia, Romênia, Bulgária e Ucrânia. O Danúbio é um importante via navegável para o transporte de cargas e passageiros, facilitando o comércio entre o leste e o oeste da Europa”.
- “Canal do Reno-Meno-Danúbio: este sistema de canais conecta o Reno, o Meno e o Danúbio, permitindo o transporte contínuo de mercadorias do Mar do Norte até o Mar Negro. O canal é um importante rota para o transporte de mercadorias entre o norte e o sul da Europa”.
- “Canal de Kiel: localizado no norte da Alemanha, o Canal de Kiel conecta o Mar do Norte ao Mar Báltico, proporcionando uma rota mais curta para o transporte marítimo entre essas duas regiões. O canal é um importante via navegável para o comércio internacional e o turismo”.

Além dessas principais vias navegáveis, há muitos outros rios, canais e lagos na Europa que são utilizados para o transporte de mercadorias e passageiros. Essas hidrovias desempenham um papel vital na economia da região, oferecendo uma alternativa mais sustentável e eficiente ao transporte rodoviário e ferroviário.

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 a existência de grande quantidade de rios: são 7,5 mil km de vias navegáveis, sendo possível atravessar toda a Alemanha, e são interligadas à rede fluvial dos países vizinhos (CITAQ, 2013). As hidrovias que se destacam no continente são do Rio Reno (Figura 14) e do Rio Danúbio.

Figura 14: Hidrovia do Reno

Fonte: *Bargain Travel Europe* (2023).

O Reno é um rio com 1.320 km de comprimento, sendo 884 km a navegabilidade da hidrovia, da Basiléia, na Suíça, até Roterdã, na Holanda. Atravessa ou acompanha seis países: Suíça, Áustria, Liechtenstein, Alemanha, França e os Países Baixos. O porto de Roterdã 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). De acordo com o Centro de Informação em Transporte Hidroviário (CITAQ, 2013), a hidrovia Danúbio surge nos Alpes e atravessa vários países como Áustria, Hungria, Romênia, Bulgária e Iugoslávia, desaguando no Mar Negro. As mercadorias que mais circulam nesta hidrovia são cereais, carvão mineral e produtos industriais.

O rio Danúbio é considerado a espinha dorsal do transporte aquático na Europa. Conecta, via Reno – Canal Principal, a Europa Ocidental e o porto de Roterdã com o Mar Negro, ou seja, com a Rússia e o Oriente (MIHIC *et al.*, 2011).

O Danúbio tem 2.415 km de comprimento navegável e é 2,7 vezes mais longo que o trecho navegável do Reno, que se estende por 885 km. A distância média de transporte de mercadorias no Danúbio é de 600 km, enquanto no Reno é de apenas cerca de 200 km. O Reno tem muitos afluentes fluviais, e o seu estuário estende-se por toda a Holanda, ligando-se a

muitos canais. Todas estas vias fluviais atravessam uma região da Europa densamente povoada (média de 250 pessoas/km²). Estas condições permitem que a carga chegue a locais economicamente relevantes e até mesmo facilitam a entrega porta a porta para algumas plantas industriais na Bélgica e na Holanda (COOLLING *et al.*, 2022).

Enquanto o braço principal do rio Danúbio transporta quantidades de mercadorias, existem apenas alguns afluentes do rio (Figura 15). A densidade populacional média ao redor do Danúbio é de 140 pessoas/km². Portanto, confinando o acesso de transporte a áreas regionais específicas e contando com extensivo pré e final de transporte rodoviário para levar mercadorias a uma variedade de locais (COOLLING *et al.*, 2022).

Figura 15: Rio Danúbio



Fonte: Freitas (2023).

A Alemanha ainda possui o “*Wasserstrassenkreuz*” que pode ser traduzido como “cruzamento de hidrovias” (Figura 16). 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 é subdividida em 3 trechos e um canal com 690 m. A iniciativa fez parte do projeto de reunificação nacional, implementado após a queda do Muro de Berlim. Sua principal função é facilitar o comércio entre as duas ex-nações.

Figura 16: Cruzamento de hidrovias Mittelland e Elba-Havel



Fonte: Civilização Engenharia (2012).

Segundo Havinga (2020), um dos cruzamentos de hidrovias mais significativos na Alemanha é o cruzamento entre o rio Reno e o rio Meno, localizado em Mainz, uma cidade no estado da Renânia-Palatinado. Este ponto é conhecido como “*Mainzer Kreuz*” em alemão.

O rio Meno é um afluente do rio Reno e deságua no Reno em Mainz, formando um importante nó de transporte aquático. A convergência desses dois rios cria um ponto crucial para o transporte fluvial na Alemanha e na Europa, já que o Reno é uma das principais vias navegáveis da região, conectando várias partes da Europa Central e Ocidental. Nesse cruzamento, há uma intensa atividade de transporte de mercadorias, com navios carregando uma variedade de cargas, incluindo contêineres, produtos agrícolas, produtos químicos e outros. Além disso, o cruzamento das hidrovias em Mainz também é importante para o turismo fluvial, com muitos cruzeiros que exploram os rios Reno e Meno, proporcionando aos passageiros uma experiência única ao longo das paisagens europeias.

2.4 PRINCIPAIS HIDROVIAS BRASILEIRAS

Segundo Nunes (2020), o Brasil, além de ter grande extensão de costa marítima, apresenta uma imensa reserva de água doce. Temos em nosso território diversos rios propícios à navegação. Porém, os rios ainda são pouco utilizados para movimentação de cargas se

comparados sobretudo ao modo rodoviário, que é menos econômico e mais poluente, mas que foi de importância no passado para o desenvolvimento do País.

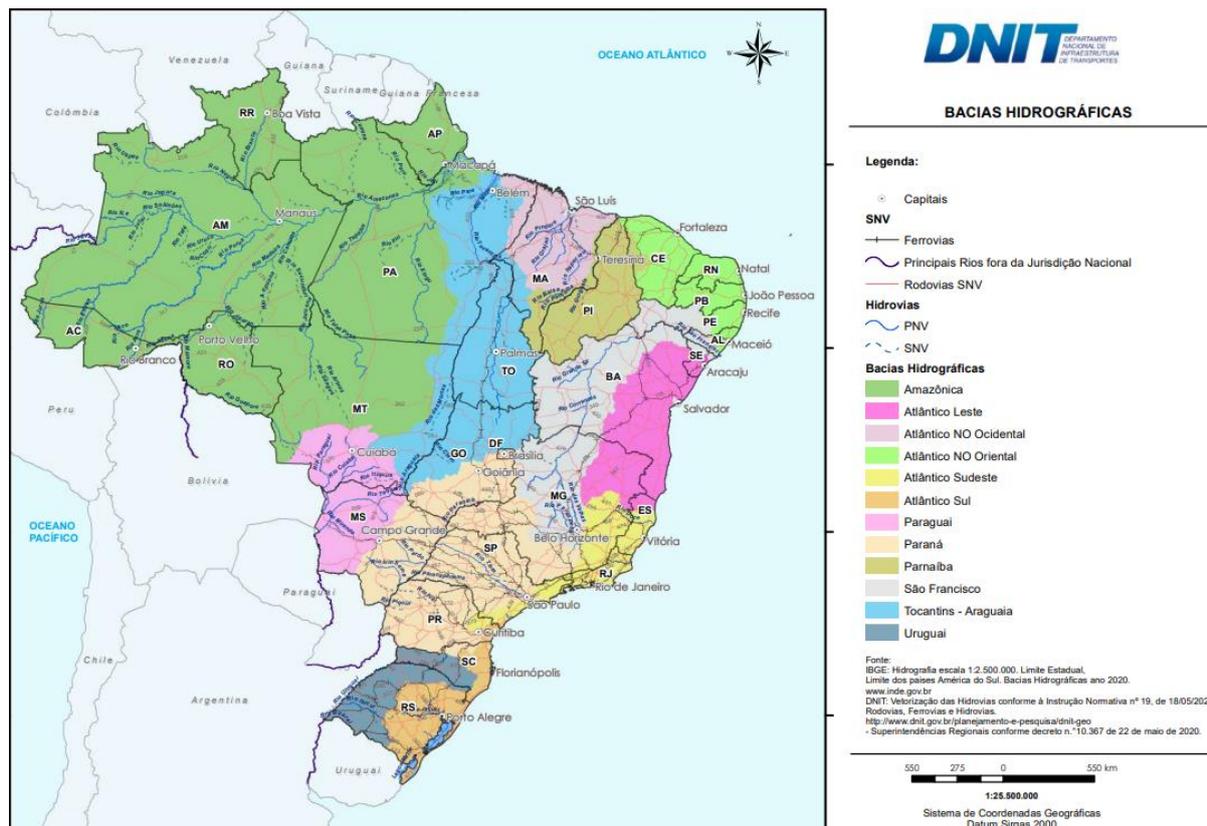
O Brasil possui mais de 60 mil km de rios navegáveis, porém só são utilizados cerca de 20 mil km (ANTAQ, 2023a). Os rios navegáveis são os que não precisam de grandes intervenções humanas para torná-los úteis ao transporte de cargas e passageiros, utilizando apenas algumas atividades de derrocamento ou desassoreamentos. É o caso, por exemplo, dos rios Madeira (que banha os estados de Rondônia e Amazonas), Tapajós (que nasce no Mato Grosso e deságua no Rio Amazonas), o próprio Amazonas e o Rio Paraguai (que banha quatro países da América do Sul) (NUNES, 2020).

2.4.1. Regiões Hidrográficas Brasileiras

O território brasileiro, assim como qualquer parte do globo terrestre, está todo subdividido naturalmente em diversas bacias hidrográficas. É destas bacias hidrográficas que a sociedade obtém grande parte da água utilizada para as atividades humanas no Brasil. Isso envolve o abastecimento humano, a irrigação, a dessedentação de animais e todas as atividades industriais e de serviços desenvolvidas em território brasileiro (IBGE, 2021).

O Brasil dispõe de uma vasta rede de vias navegáveis, sendo que o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) instituiu 12 Regiões hidrográficas, sendo que essa divisão das regiões visa orientar o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos em todo o país. A divisão pode ser observada na Figura 17, onde estão as regiões: Amazônica, Atlântico Nordeste Ocidental, Atlântico Nordeste Oriental, Atlântico Leste, Atlântico Sudeste, Atlântico do Sul, Tocantins/Araguaia, Parnaíba, São Francisco, Paraguai, Paraná e Uruguai (ANA, 2022).

Figura 17: Regiões hidrográficas brasileiras



Fonte: DNIT (2023).

A Região Hidrográfica Amazônica (RH Amazônica) ocupa 45% do território nacional, abrangendo sete Estados (Acre, Amazonas, Rondônia, Roraima, Amapá, Pará e Mato Grosso). Possui uma extensa rede de rios com grande abundância de água, sendo os mais conhecidos: Amazonas, Xingu, Solimões, Madeira e Negro. A densidade populacional é 10 vezes menor que a média nacional, entretanto, a região concentra 81% da disponibilidade de águas superficiais do país. Cerca de 85% da área da RH Amazônica permanece com cobertura vegetal nativa (ANA, 2022).

Pertencem à Região Hidrográfica Amazônica as hidrovias Solimões-Amazonas, Madeira e Tapajós. A Hidrovia Solimões-Amazonas é composta pelo rio Solimões, entre a tríplice fronteira Brasil-Peru-Colômbia e o seu encontro com o rio Negro, pelo rio Amazonas, da confluência do Rio Negro até a sua foz, no Atlântico, e diversos afluentes de ambos, dos quais destacam-se os rios Negro, Branco, Purus, Jari e Trombetas, fazendo uma rede de quase sete mil quilômetros de extensão (ANTAQ, 2010).

Na hidrovia Solimões-Amazonas estão localizados, e em operação, dois portos organizados, 20 terminais de uso privativo e uma Estação de Transbordo de Carga (ETC). Segundo ANTAQ (2022), a hidrovia Solimões-Amazonas (Figura 18), é a principal via de

deslocamento de carga da Região Norte. A extensão e profundidade da via, a vasta rede de afluentes e a concentração de importantes polos produtivos são alguns dos fatores que concorrem para o transporte hidroviário de carga ser expressivo na região.

Figura 18: Hidrovia Solimões-Amazonas



Fonte: Hidroviáveis (2023).

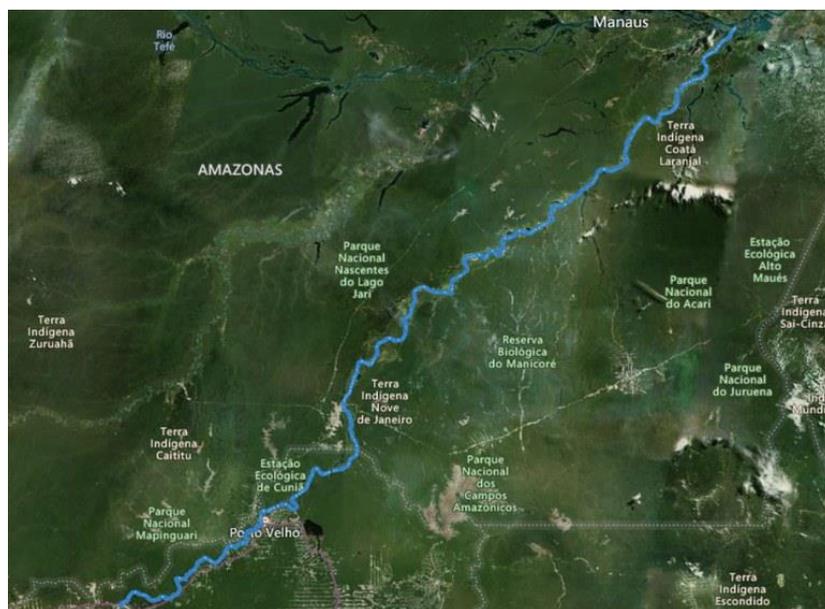
Já o rio Tapajós, a exemplo do rio Madeira, tem-se destacado como nova rota para exportação de produtos agrícolas provenientes da Região Centro-Oeste. Por ela, os grãos seguem por via rodoviária (BR-163) até Itaituba/PA, onde são transferidos nas diversas ETC's existentes para barcaças que seguem pela hidrovia do Tapajós até as instalações portuárias existentes no município de Santarém/PA (podendo, também, seguir pela Hidrovia do Amazonas até Barcarena/PA ou Santana/AP), de onde finalmente são embarcados em navios de longo-curso (ANTAQ, 2022).

Ainda segundo ANTAQ (2022), o fluxo preponderante de produtos transportados na hidrovia Solimões-Amazonas, constituído pelos grupos sementes e frutos oleaginosos (10,3 milhões de toneladas) e cereais (4,4 milhões de toneladas), totalizou cerca de 14,7 milhões de toneladas transportadas em 2021, aproximadamente 63% do total movimentado na hidrovia. Com 4,1 milhões de toneladas transportadas em 2021, o fluxo de combustíveis e óleos minerais superou o nível alcançado em 2019 e 2020. O transporte desse tipo de mercadoria é bastante disperso na região Amazônica e atende a diversas finalidades, entre elas à demanda das usinas termelétricas.

O rio Amazonas, o mais extenso do mundo, desempenha um papel crucial no transporte de cargas na região Norte, conectando áreas remotas da Amazônia ao restante do país. O rio Madeira é um dos principais afluentes da margem direita da hidrovia do rio Amazonas, representando a segunda hidrovia mais importante da região norte. Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), a hidrovia do rio Madeira (Figura 19) apresenta uma extensão navegável de 1.060 km, entre Porto Velho e a foz, localizada no

município de Itacoatiara (AM). Essa extensão está distribuída em aproximadamente 180 km dentro dos limites do estado de Rondônia e 876 km no estado do Amazonas. O rio é navegável durante todo o ano, permitindo o tráfego de comboios de barcaças de carga com até 18 mil toneladas (DNIT, 2021).

Figura 19: Localização da Hidrovia do Madeira



Fonte: DNIT (2023).

Permite, mesmo na época de estiagem, a navegação de grandes comboios, com até 18.000 t. É uma via fundamental para o escoamento da produção de soja, principalmente, do Centro Oeste para o exterior. Neste trecho também são movimentados: fertilizantes, derivados de petróleo, produtos frigorificados, bebidas e carga geral sendo cerca de 2 milhões de toneladas por ano (ANTAQ, 2010).

Criada há mais de 10 anos, a hidrovia do Madeira é apontada como a mais segura e tem pouquíssimos acidentes devido ao processo de sinalização da via (ANTAQ, 2010). A hidrovia do Madeira é uma das principais vias de escoamento da produção agrícola da Região Centro-Oeste, transportada por rodovia até o município de Porto Velho, onde se localizam as principais instalações portuárias autorizadas. O trecho percorrido na hidrovia do Madeira compõe parte da logística de exportação de produtos agrícolas oriundos do Centro-Oeste que são transferidos para navios de longo curso no terminal hidroviário de Itacoatiara, no rio Amazonas, ou no porto de Santarém, no rio Tapajós. Pela hidrovia do Madeira, foram transportadas cerca de 4,8 milhões de toneladas de sementes e frutos oleaginosos e 1,8 milhões de toneladas de cereais no ano de 2021, que somados totalizaram, aproximadamente, 6,6 milhões de toneladas,

demonstrando uma queda no volume de transporte destas cargas em relação aos anos de 2020 e 2019 (ANTAQ, 2023a).

Os investimentos na hidrovia compreendem dragagens, derrocamentos, balizamento e sinalização. Além dessa função comercial, por ela trafegam também moradores de comunidades tradicionais pertencentes ao Município de Porto Velho que desenvolvem uma relação de sustentabilidade para com o rio.

Em junho de 2024, após uma reunião com a Diretoria da ANTAQ, foi aprovado a modelagem da concessão da Hidrovia do Rio Madeira e determinado que os autos do projeto de concessão (que é a primeira concessão), sejam encaminhados ao Ministério de Portos e Aeroportos (MPor) (ANTAQ, 2024).

De acordo com o Plano de Trabalho elaborado para embasar a concessão, a principal justificativa é que, muito embora as vias navegáveis ofereçam vantagens para o transporte de cargas em um país de dimensões continentais como o Brasil, ainda persistem restrições estruturais que impedem o pleno desenvolvimento desse setor. Serviços de dragagem, derrocagem, balizamento e sinalização adequados, previstos para a concessão, irão garantir segurança e confiabilidade da navegação. O investimento estimado previsto é de R\$ 109 milhões (ANTAQ, 2024).

Ainda segundo a modelagem, foi definido que somente será feita a cobrança de tarifa para a movimentação de cargas quando a concessionária começar a prestar o serviço. Em relação ao transporte de passageiros não haverá cobrança de tarifa.

A Hidrovia Tapajós – Teles Pires, tem o Rio Teles Pires nascendo no interior do Mato Grosso e a sua confluência com outro rio dá origem ao Rio Tapajós. Esse conjunto de rios se estende por 1.576 km, passando pelos estados do Amazonas e Pará, desaguardo no Rio Amazonas, próximo a Santarém, no Pará. Esse caminho deve se tornar a melhor rota para o escoamento de grãos do centro-norte do estado de Mato Grosso após a total implantação da hidrovia (ANTAQ, 2010).

De acordo com a Plano Nacional de Integração Hidroviária – PNIH (2013), o Rio Tapajós possui extensão de 851 km entre a sua origem, no norte do Mato Grosso, até a foz no Rio Amazonas, no município de Santarém (PA). Por sua vez, os rios Purus, Acre, Juruá, Japurá e Içá também são rios navegáveis, mas são utilizados principalmente para o transporte local de passageiros e de pequenas cargas, bem como para o fornecimento de diesel para o funcionamento de pequenas usinas termoelétricas e geradores da região. Apesar de também integrarem a Região Hidrográfica Amazônica, não fazem parte deste estudo.

A Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental ocupa 3% do território nacional, abrangendo quase a totalidade do estado do Maranhão e pequena parcela do Pará. O uso urbano da água é preponderante e estão presentes na região três biomas brasileiros: Caatinga, Cerrado e Amazônico (ANA, 2015).

Ainda de acordo com ANA (2015), a Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental ocupa 3,4% do território nacional, abrangendo seis estados: Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Alagoas. A densidade demográfica da região é cerca de 4 vezes maior do que a média brasileira. Quase a totalidade de sua área pertence à Região do Semiárido Brasileiro, caracterizada por apresentar períodos de estiagens prolongadas e temperaturas elevadas durante todo o ano. Esta é a região hidrográfica com a menor disponibilidade hídrica do Brasil.

ANTAQ (2022) afirma que a Região Hidrográfica Atlântico Leste (RH Atlântico Leste) ocupa 3,9% do território do país, abrangendo quatro Estados (Bahia, Minas Gerais, Sergipe e Espírito Santo). Grande parte de sua área está situada na região semiárida, que possui períodos de prolongadas estiagens. A RH Atlântico Leste possui a segunda menor disponibilidade hídrica, dentre as doze regiões hidrográficas brasileiras.

A Região Hidrográfica Atlântico Sudeste ocupa 2,5% do território nacional e abrange cinco estados: Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo e Paraná. É a região hidrográfica mais povoada, com densidade demográfica seis vezes maior que a média brasileira. Apresenta alta diversidade de atividades econômicas e significativo parque industrial, constituindo-se em uma das regiões mais economicamente desenvolvidas do país (ANTAQ, 2022).

A Região Hidrográfica Atlântico Sul ocupa 2,2% do território nacional e abrange parte dos Estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Destaca-se por abrigar um expressivo contingente populacional, pelo desenvolvimento econômico e por sua importância turística. Possui densidade demográfica cerca de 3 vezes maior que a média brasileira (ANTAQ, 2022).

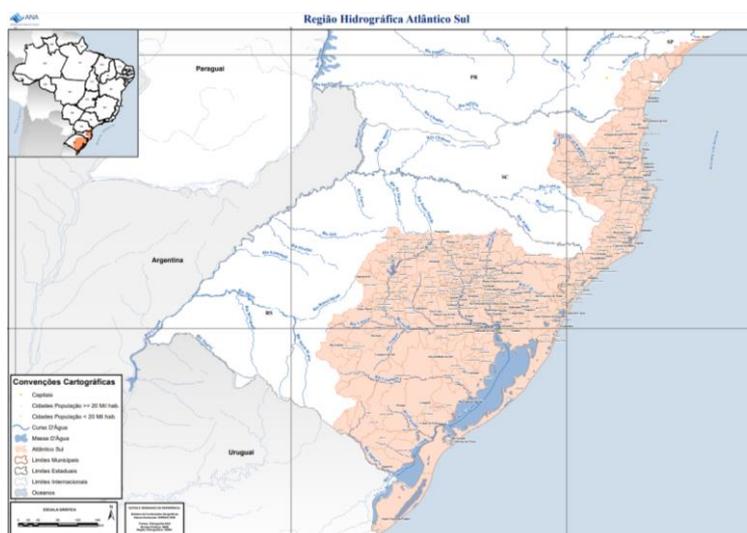
Pertence à Região Hidrográfica Atlântico Sul a hidrovia do Sul. De acordo com ANA (2015), denomina-se Hidrovias do Sul ao conjunto de vias fluviais e lacustres, constituído pelos rios Jacuí, Taquari, Caí, dos Sinos, Gravataí, Camaquã e Jaguarão, que se ligam à lagoa dos Patos através do Lago Guaíba, onde se localizam instalações portuárias autorizadas. Estas vias são administradas pela Administração Hidroviária do Sul (AHSUL) e pela Superintendência de Portos e Hidrovias (SPH). Essa hidrovia interliga a região industrial e de produção agrícola do estado do Rio Grande do Sul às instalações flúmen-marítimas do município do Rio Grande/RS.

Distante 10 km do Oceano Atlântico, o porto do Rio Grande, localizado nesse município, é a principal porta de entrada e saída das mercadorias que transitam nas Hidrovias do Sul.

Segundo ANA (2015), a navegação interior na Hidrovia do Sul caracteriza-se pelo considerável volume de carga transportada em trechos de curta extensão. O sistema hidroviário do Sul liga, por meio de rios, canais e lagoas, a região industrial e de produção agrícola do Rio Grande do Sul a um grande porto marítimo, já na saída para o oceano Atlântico (Figura 20).

Ao longo da hidrovia, foram construídas e estão em operação quatro eclusas em barramentos de regularização destinados a evitar grandes variações do nível, para controle de inundação e melhoria das condições de navegabilidade. A hidrovia do Sul conta com quatro portos organizados e 15 terminais de uso privativo em operação.

Figura 20: Hidrovia do Sul



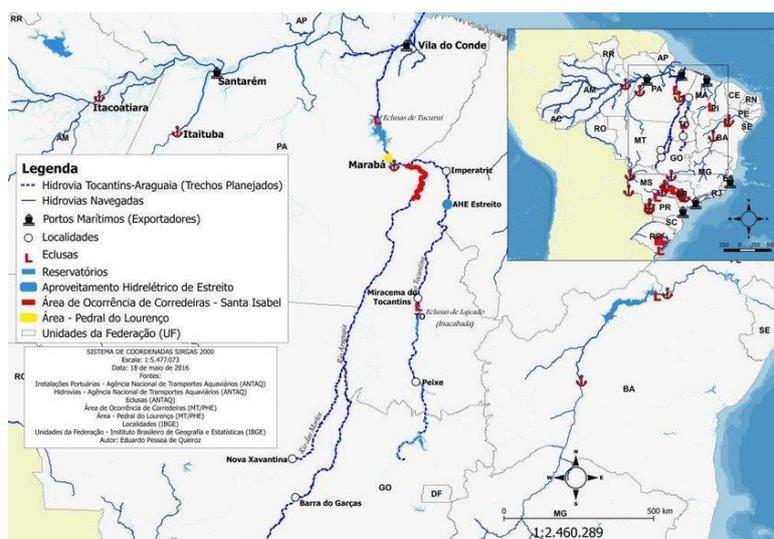
Fonte: ANA(2022).

A Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia corresponde a 10,8% do território brasileiro, abrangendo seis estados: Goiás, Tocantins, Pará, Maranhão, Mato Grosso e Distrito Federal. Na Região, estão presentes os biomas Floresta Amazônica, ao norte e noroeste, e Cerrado nas demais áreas. A precipitação média anual na região é bem menor do que a média nacional. Possui grande potencial turístico: pesca esportiva, turismo ecológico, praias fluviais, a maior ilha fluvial do mundo (Ilha do Bananal), o polo turístico de Belém, o Parque Estadual do Jalapão (TO) e o Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (GO), reconhecido pelas belas cachoeiras (ANA, 2015).

Na Hidrovia Tocantins-Araguaia os rios atravessam as regiões Centro-Oeste e Amazônica, sendo a bacia do Tocantins a maior bacia localizada inteiramente no Brasil (Figura 21). No período das cheias, o rio Tocantins é navegável numa extensão de 1.900 km.

O Araguaia cruza o estado de Tocantins de norte a sul, é navegável num trecho de 1.100 km e possui apenas algumas restrições devido a profundidade, porém, é suscetível de correção através de melhoramentos a serem implantados progressivamente (PNIH, 2013).

Figura 21: Hidrovia Tocantins-Araguaia



Fonte: Queiroz (2016).

Aqui também se destaca o transporte dos granéis do complexo da soja, das sementes e frutos oleaginosos e do grupo dos cereais, que, apesar das respectivas quedas no transporte em 2021 de 11,4% e 49,3%, respectivamente, ainda representam cerca de 70% de todo transporte na hidrovia. Registre-se que as instalações portuárias autorizadas na hidrovia Tocantins-Araguaia estão localizadas principalmente nos municípios de Belém e Barcarena, já na Baía de Marajó, foz em estuário do Rio Tocantins (ANTAQ, 2022).

De acordo com a Empresa de Planejamento e Logística S.A. (EPL, 2021), com a construção da hidrelétrica de Tucuruí, o objetivo principal era a geração de energia, mas se por um lado a barragem afogou, com o seu reservatório, as corredeiras que eram um empecilho à navegação, ela também seccionou a hidrovia, exigindo a construção de uma obra de grande porte para vencer o desnível de 72m que foi criado com ela. Dessa forma, o sistema de transposição de desnível é constituído por duas eclusas e um canal intermediário, adequadamente alinhados, para dar continuidade à navegação no trecho interrompido devido a construção da barragem. A construção das eclusas é imprescindível ao aproveitamento

econômico do grande potencial agropecuário, florestal e mineral do Vale do Tocantins-Araguaia, considerando a carga de baixo valor unitário e as grandes distâncias a serem percorridas.

A Região Hidrográfica Parnaíba ocupa 3,9% do território brasileiro, abrangendo três estados: Ceará, Piauí e Maranhão. Em grande parte localizada, no semiárido brasileiro, caracteriza-se pela intermitência das chuvas, com precipitação média anual muito abaixo da média nacional. O principal uso da água na região é a irrigação (ANA, 2015).

Ainda de acordo com a ANA (2015), a Região Hidrográfica São Francisco ocupa 7,5% do território brasileiro, abrangendo sete estados: Bahia, Minas Gerais, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Goiás e Distrito Federal. A precipitação média anual na RH São Francisco é muito abaixo da média nacional, apresentando frequentes situações de escassez de água. Entretanto, a RH tem importante papel na geração de energia para a região nordeste do país.

A Região Hidrográfica Paraguai ocupa 4,3% do território brasileiro, abrangendo parte dos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, o que inclui a maior parte do Pantanal-mato-grossense, a maior área úmida contínua do planeta. A densidade demográfica da região é cerca de 3,5 vezes menor que a média nacional (ANA, 2015).

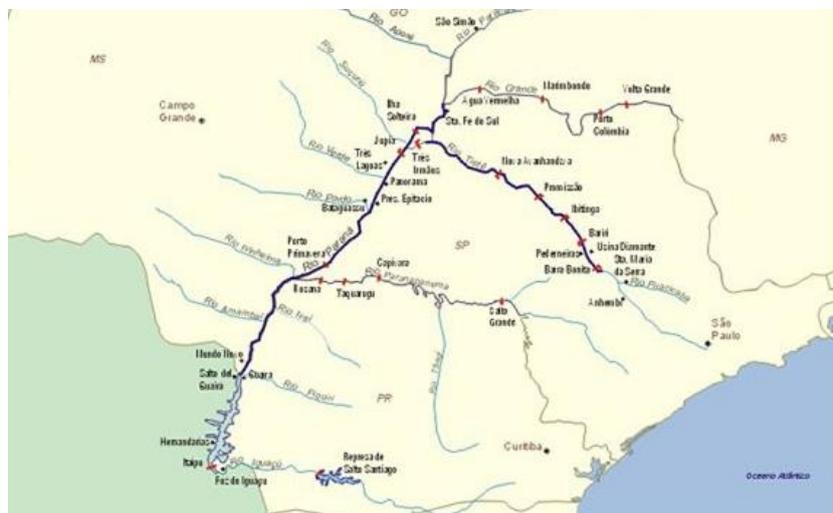
A Hidrovia do Paraguai passa no sentido norte-sul em uma extensão de 3.442 km. Ela permite a ligação fluvial direta do Centro-Oeste brasileiro com o oceano Atlântico. De acordo com ANTAQ (2022), corta metade da América do Sul, desde Cáceres, no Mato Grosso, até Nova Palmira, no Uruguai. O trecho brasileiro, com 1.272 km de extensão, vai até a confluência com o Rio Apa e define a fronteira com o Paraguai por cerca de 330 km e com a Bolívia por cerca de 48 km. É um importante via de transporte de minérios, produtos agrícolas e grãos da região Centro-Oeste do País. Por suas águas são realizadas exportações e importações entre países da Bacia do Prata e de outros continentes.

As cidades mais importantes na área de influência da hidrovia são Cuiabá, Cáceres e Poconé, no Mato Grosso, e Corumbá, Ladário, Miranda, Aquidauana e Porto Murinho, no Mato Grosso do Sul. Em 2021, foram transportados 3,1 milhões de toneladas, revertendo a tendência descendente observada em 2020 (DNIT, 2021).

DNIT (2021) afirma ainda que a Região Hidrográfica Paraná ocupa 10% do território brasileiro, abrangendo sete estados: São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Goiás, Santa Catarina e Distrito Federal. É a região mais populosa e de maior desenvolvimento econômico do país. Por isso, possui as maiores demandas por recursos hídricos, tendo como destaque o uso industrial. É também a região com maior área irrigada e maior aproveitamento do potencial hidráulico disponível.

A hidrovia Paraná-Tietê é considerada a mais desenvolvida do país segundo ANTAQ (2010), em função dos investimentos em infraestrutura e tecnologia. Ela integra as regiões produtoras de grãos, cana-de-açúcar e etanol, ao alto Tietê. São cerca de 1.653 km de vias fluviais navegáveis, interligando cinco estados brasileiros - Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Paraná e São Paulo, sendo 970 km de responsabilidade da Administração Hidroviária do Paraná (AHRANA) e 683 km administrados pelo Departamento Hidroviário subordinado à Secretaria Estadual de Transportes de São Paulo (DHSEST/SP). Destacam-se as seguintes vias: Rios Paraná Paranaíba, Grande, Tietê, Piracicaba e São José dos Dourados e o canal Pereira Barreto (Figura 22).

Figura 22: Hidrovia Paraná-Tietê



Fonte: Brasil (2023).

Há interesse do Paraguai em utilizar o transporte fluvial para transportar mercadorias via Santos, que serão interligadas às unidades alfandegárias onde irão ser transbordadas para os trens da Ferrovia Paulista S.A. (FEPASA), ou vice-versa.

De acordo com ANTAQ (2022), a exemplo das hidrovias do Madeira e do Tocantins-Araguaia, a hidrovia Paraná-Tietê constitui um corredor hidroviário estratégico para o escoamento dos grãos agrícolas produzidos no Centro-Oeste brasileiro. Pela logística comumente praticada, as sementes e frutos oleaginosos (complexo da soja) e os cereais são embarcados em São Simão/GO e transportados pela hidrovia até o estado de São Paulo (Pederneiras, Anhembi e Santa Maria da Serra), de onde a carga segue por ferrovia até o porto de Santos, para exportação.

Alguns fatos relevantes: (i) o volume total das mercadorias transportadas na Hidrovia Paraná-Tietê somou 3,2 milhões de toneladas, com decréscimo ($\Delta\% = -17,6\%$) em relação ao

ano de 2020, no qual já havia apresentado queda no volume transportado (3,9 milhões de toneladas), em comparação à 2019; (ii) Em 2021 houve um acréscimo de aproximadamente 24% no transporte do complexo soja e uma queda na ordem de 63% de cereais, que, juntos, representaram cerca de 74% do transporte de cargas nesta hidrovia (ANTAQ, 2022).

Ressalte-se que a hidrovia Tietê-Paraná é um dos principais meios de escoamento de milho e soja que vêm dos estados do Centro-Oeste do país até São Paulo, sendo que a concentração dos embarques nas plataformas exportadoras de ambos os produtos ocorre no período de colheita: para a soja no primeiro trimestre de colheita (março, abril e maio) e para o milho nos meses da colheita da 2ª safra (agosto, setembro e outubro). Assim, têm-se que a acentuada queda de exportação do grupo “cereais” no ano de 2021 em decorrência de alguns fatores, um foi a forte estiagem que perdurou pelo período de colheita da 2ª safra de milho, a paralisação das operações de transporte no fim do mês de agosto em função da estiagem na região, além da finalização das obras de ampliação do canal da eclusa de Ibitinga (ANTAQ, 2023a).

ANA (2015) afirma que a Região Hidrográfica Uruguai ocupa cerca de 3% do território brasileiro, abrangendo porções dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. A região possui atividades agroindustriais desenvolvidas e grande potencial hidrelétrico. O clima é temperado, com chuvas distribuídas ao longo de todo o ano, mas com maior concentração no inverno (maio a setembro).

A matriz de transporte brasileira no diagnóstico atual é altamente dependente do transporte rodoviário. Observa-se que para o ano base do Plano Nacional de Logística (PNL) de 2017, 66,21% da Tonelada quilômetro útil (TKU) estava concentrado nesse modo, e 83,25% do Valor Quilômetro-Útil (VKU). Isso significa que, além de desempenhar papel considerável no transporte de grandes volumes, o transporte rodoviário de cargas é o grande responsável pelo transporte de bens alto valor agregado para grande parte das demandas, de sua origem, até o destino (EPL, 2021).

Um dos objetivos do Plano Nacional de Transportes (PNT), absorvidos pelo Plano Nacional de Logística (PNL), é construir uma matriz de transporte “racional”. Entende-se no conceito aplicado pela mencionada política, que a matriz tornar-se-ia mais racional quando a participação dos modos de transporte públicos e de grande capacidade (ferrovias, cabotagem e transporte de navegação interior) fosse mais representativa na produção de transporte (EPL, 2021).

A EPL é uma empresa estatal que tem por finalidade estruturar e qualificar, por meio de estudos e pesquisas, o processo de planejamento integrado de logística no país, interligando

rodovias, ferrovias, portos, aeroportos e hidrovias. Conforme estabelecido pela Lei Nº 12.743, de 19 de dezembro de 2012, a EPL tem como objetivos:

1. Planejar e promover o desenvolvimento do serviço de transporte ferroviário de alta velocidade de forma integrada com as demais modalidades de transporte, por meio de estudos, pesquisas, construção da infraestrutura, operação e exploração do serviço, administração e gestão de patrimônio, desenvolvimento tecnológico e atividades destinadas à absorção e transferência de tecnologias; e

2. Prestar serviços na área de projetos, estudos e pesquisas destinados a subsidiar o planejamento da logística e dos transportes no País, consideradas as infraestruturas, plataformas e os serviços pertinentes aos modos rodoviário, ferroviário, dutoviário, aquaviário e aeroviário.

A matriz de transporte brasileira elaborada pela EPL, conforme a Tabela 3, é inversamente proporcional à economia de custos pois privilegia o transporte rodoviário em relação aos modos aquaviário e ferroviário.

Tabela 3: Matriz de Transporte Brasileira

Modo	Cenário ano base 2017	
	TKU (bilhões)	Percentual da Matriz
Rodoviário	1.549,84	66,21 %
Ferrovário	414,13	17,69 %
Cabotagem costeira	215,49	9,21 %
Navegação em vias interiores	130,61	5,58 %
Dutoviário	29,56	1,26 %
Aeroviário	1,33	0,06 %
Total	2.340,96	100 %

Fonte: adaptado de EPL (2021).

Apesar desse vasto potencial, o setor hidroviário brasileiro enfrenta uma série de desafios. A falta de investimentos em infraestrutura, como a construção e a manutenção de portos, hidrovias e eclusas, limita a eficiência e a capacidade do transporte fluvial. Além disso, questões relacionadas à burocracia, à segurança e à regulamentação também impactam negativamente o desenvolvimento do setor.

No entanto, há esforços em andamento para superar esses obstáculos e promover o uso mais eficiente e sustentável dos recursos hidroviários do país. Projetos de modernização e expansão da infraestrutura, aliados a políticas de incentivo ao transporte fluvial, podem contribuir para aumentar a competitividade desse modal, reduzir os custos logísticos e promover o desenvolvimento econômico regional.

2.5 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Desenvolvimento sustentável foi definido como “o desenvolvimento que satisfaz às necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades” (WCED, 1987). Qualquer que seja o conceito de desenvolvimento sustentável adotado, é necessária uma interligação entre os três elementos que o caracterizam: desenvolvimento econômico, social e meio ambiente (TAPAJÓS, 2002).

O pilar Social refere-se à preocupação com o capital humano e com a sociedade de uma maneira geral. Trata-se de todas as pessoas que estão, direta ou indiretamente, relacionadas às atividades desenvolvidas por uma empresa. Isso inclui, além de seus funcionários, seu público-alvo, seus fornecedores, a comunidade ao seu entorno e a população como um todo.

O próximo fator a ser levado em conta é o Econômico. Para que uma empresa seja economicamente sustentável, ela deve ser capaz de consumir, produzir, distribuir e oferecer seus produtos ou serviços de forma que estabeleça uma relação de competitividade justa com os demais concorrentes do mercado.

Por fim, no terceiro pilar (Ambiental), deve-se considerar a valorização aos recursos naturais. O desenvolvimento sustentável ambientalmente correto se refere a todas as condutas que possuam algum impacto - direto ou indireto - no meio ambiente, seja a curto, médio ou longo prazo.

Mediante as transformações do mundo, repleto de tensões sociais, mudanças políticas e esgotamento dos recursos naturais, é notória a urgência de desenvolver um novo modelo de desenvolvimento que possibilite a expansão econômica conjugada com a inclusão social, preservação ambiental e a qualidade de vida. Neste contexto, o desenvolvimento começa a ser compreendido como um processo complexo de transformações e mudanças intensas, que abarcam os aspectos econômicos, sociais, ambientais e políticos. Caracterizado pela necessidade de suprir as necessidades básicas da humanidade, de perpetuar o direito à cidadania, em prol da construção de uma sociedade mais justa e igualitária e do crescimento econômico sustentado, surge o Desenvolvimento Sustentável como alternativa as demandas da contemporaneidade (MOLINA, 2019).

Segundo Barbieri (2009), os países são considerados desenvolvidos ou em desenvolvimento pela Organização das Nações Unidas (ONU) de acordo com o nível de industrialização, a renda per capita e a diversificação econômica. Entretanto, nota-se que esta mensuração de desenvolvimento é falha, em virtude de seu caráter meramente econômico, que despreza os aspectos sociais e ambientais.

2.5.1 Desenvolvimento Sustentável no setor de transportes

Segundo CST (2005), a sustentabilidade de um sistema de transportes é definida da seguinte forma, internacionalmente aceita:

Um sistema sustentável de transporte é aquele que permite acesso às necessidades básicas de indivíduos e das sociedades, com segurança e de maneira consistente com a saúde humana e do ecossistema, e com equidade dentro e entre gerações; é acessível, opera eficientemente, oferece escolha de modo de transporte, e suporta uma economia vibrante; e limita emissões e resíduos dentro da capacidade do planeta absorver-los, minimiza o consumo de recursos não renováveis a um limite sustentável, pratica o reuso e a reciclagem de seus componentes, e minimiza o uso da terra e a produção de ruídos.

O setor de transportes é responsável por 15,9% do total de emissões de dióxido de carbono no planeta Terra (WRI, 2020). Embora não haja uma definição padrão para a sustentabilidade do sistema de transporte, ela está sendo amplamente definida por meio dos impactos do sistema na economia, no meio ambiente e no bem-estar social em geral; e medido pela eficácia e eficiência do sistema, e os impactos do sistema no ambiente natural (JEON; AMEKUDZI, 2005).

A definição de sustentabilidade do transporte tem um escopo amplo e envolve questões específicas de transporte. Conforme definido pelo Conselho Europeu dos Ministros dos Transportes (ECMT, 2004), a sustentabilidade do transporte tem as seguintes características:

1. Permite o acesso básico e as necessidades de desenvolvimento dos indivíduos, empresas e sociedade a serem atendidas com segurança e de forma consistente com a saúde humana e do ecossistema e promove a equidade dentro e entre gerações sucessivas.
2. É acessível, opera de forma justa e eficiente, oferece uma escolha de modo de transporte e apóia uma economia competitiva, bem como desenvolvimento regional equilibrado.
3. Limita as emissões e resíduos dentro da capacidade do planeta de absorver eles, usam recursos renováveis em ou abaixo de suas taxas de geração eração, e usa recursos não renováveis em ou abaixo das taxas de desenvolvimento de substitutos renováveis, minimizando o impacto no uso da terra e na geração de ruído.

O Transporte Hidroviário Interior (THI) sustentável é aquele no qual o aumento da carga se alia à redução de custos ambientais e econômicos na construção e na operação, ao mesmo tempo em que é resiliente às mudanças climáticas e promove a equidade social (BARROS,

2022). Segundo o Banco Mundial (2019), explorar apenas as condições naturais das vias navegáveis interiores pode diminuir a vantagem competitiva do país ao longo do tempo. A fim de trazer o grande potencial das hidrovias para a realidade, são necessários mais investimentos na estrutura institucional, no fortalecimento do quadro regulamentar e no aperfeiçoamento do quadro de financiamento do setor.

Neste contexto, a sustentabilidade (impacto na flora e fauna, emissões de CO₂, por exemplo), as vantagens econômicas para o setor e segurança são geralmente consideradas uma das principais vantagens do transporte fluvial em comparação com o transporte rodoviário (PHE, 2012). De acordo com Wang *et al.* (2020), a base da sustentabilidade é proteger o meio ambiente enquanto atinge as metas de desenvolvimento socioeconômico. A manutenção da saúde do rio é de suma importância no apoio ao fornecimento de longo prazo de bens, serviços e valores do ecossistema para necessidades futuras. Em outras palavras, vias navegáveis interiores sustentáveis, ao mesmo tempo em que expandem a capacidade de carga para atender à crescente necessidade de transporte impulsionada pelo desenvolvimento regional, devem proteger as principais funções ecológicas dos sistemas fluviais relevantes para a continuidade do canal, conectividade ribeirinha e de várzea, regime de fluxo e biodiversidade.

A elaboração de um sistema de transporte de cargas sustentável é um objetivo que pode ser satisfatoriamente alcançado, a depender das escolhas de soluções que serão feitas na montagem do sistema. A concepção do sistema de transporte fluvial de cargas deve ser baseada na verificação de indicadores econômicos, ambientais e sociais que reflitam a sustentabilidade do projeto (PADOVEZI; ASSY, 2019).

Portanto, aumentar o uso do THI é recomendável devido à grande capacidade de carga e a custos de construção mais baixos, e apoia metas em seis objetivos de desenvolvimento sustentável: ODS 3, boa saúde e bem-estar; ODS 6, água potável e saneamento; ODS 7, energia limpa e acessível; ODS 9, indústria, inovação e infraestrutura; ODS 10, desigualdades reduzidas; ODS 11, cidades e comunidades sustentáveis; e ODS 13, ação climática. Equilibrar os custos e as emissões requer expandir a capacidade de movimentação dos terminais hidroviários para evitar o uso de rodovias. A análise de impactos obras hidroviárias é necessária para superar riscos, como mudanças indesejáveis no regime hidrológico, a exploração descontrolada de areia e cascalho e a deposição de resíduos de dragagem. As questões de governança, emprego, confiabilidade e resiliência devem ser equilibradas para obter projetos bem-sucedidos. Além disso, os planejadores precisam considerar as barreiras regulatórias, financeiras e de qualidade do serviço, bem como as características do mercado (Barros, 2022).

2.5.2 Agenda 2030

Segundo ODM Brasil (2015), as metas do milênio foram estabelecidas pela ONU em 2000, com o apoio de 191 nações e ficaram conhecidas como Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM). Eram 8 Objetivos:

1. Acabar com a fome e a miséria;
2. Oferecer educação básica de qualidade para todos;
3. Promover a igualdade entre os sexos e a autonomia das mulheres;
4. Reduzir a mortalidade infantil;
5. Melhorar a saúde das gestantes;
6. Combater a Aids, a malária e outras doenças;
7. Garantir qualidade de vida e respeito ao meio ambiente;
8. Estabelecer parcerias para o desenvolvimento.

Em 25 de setembro de 2015, na sede da ONU foi realizada uma nova reunião a qual adotou a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Esse novo marco global aconteceu com o intuito de redirecionar a humanidade para um caminho sustentável, contando com a presença de mais de 150 líderes mundiais. Por sua vez, desenvolveu-se na esteira da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio+20), no Rio de Janeiro, Brasil, em junho de 2012 - um processo de três anos envolvendo Estados-Membros da ONU - pesquisas nacionais que mobilizaram milhões de pessoas e milhares de atores de todo o mundo (ONU, 2023).

A Agenda 2030 foi adotada por todos os Estados-Membros das Nações Unidas como um apelo universal à ação para erradicar a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e dar certeza que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e de prosperidade. A Agenda consiste em 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) com 169 metas que abrangem uma ampla gama de questões de desenvolvimento sustentável. Os ODSs baseiam-se no sucesso dos ODM e visam abordar as causas profundas da pobreza e a necessidade universal de um desenvolvimento que funcione para todas as pessoas. Estão interligados e integrados, reconhecendo que o progresso numa área depende frequentemente do progresso noutras. A Agenda 2030 enfatiza a importância da colaboração entre governos, sociedade civil, empresas e indivíduos para alcançar estes objetivos. O objetivo é criar um futuro mais sustentável, inclusivo e equitativo para as gerações presentes e futuras (ONU,2023). Os 17 ODS são:

1. Erradicação da Pobreza;
2. Fome Zero e Agricultura Sustentável;
3. Saúde e Bem Estar;
4. Educação de Qualidade;
5. Igualdade de Gênero;
6. Água Potável e Saneamento;
7. Energia Limpa e Acessível;
8. Trabalho Decente e Crescimento Econômico;
9. Indústria, Inovação e Infraestrutura;
10. Redução das Desigualdades;
11. Cidades e Comunidades Sustentáveis;
12. Consumo e Produção Responsáveis;
13. Ação Contra a Mudança Global do Clima;
14. Vida na Água;
15. Vida Terrestre;
16. Paz, Justiça e Instituições Eficazes;
17. Parcerias e Meios de Implementação.

Os cinco pilares fundamentais que muitas vezes são destacados como orientadores para a implementação efetiva da Agenda 2030 são os seguintes:

1. Pessoas: colocar as pessoas no centro do desenvolvimento sustentável, assegurando que todos possam desfrutar de uma vida saudável e realizar seu potencial.
2. Planeta: proteger o planeta, fortalecendo medidas para combater as mudanças climáticas, preservar a biodiversidade e promover o uso sustentável dos recursos naturais.
3. Prosperidade: garantir que todas as pessoas tenham acesso a oportunidades econômicas significativas e justas, promovendo o crescimento econômico inclusivo e sustentável.
4. Paz: promover sociedades pacíficas, justas e inclusivas, buscando prevenir conflitos, resolver disputas de forma pacífica e construir instituições eficazes.
5. Parcerias: fortalecer a implementação dos objetivos por meio de parcerias globais e locais, envolvendo governos, sociedade civil, setor privado e outros atores relevantes.

Cada um desses pilares é interligado e contribui para o alcance dos ODS de maneira integrada (Figura 23).

Figura 23: 5 pilares da Agenda 2030



Fonte: Plataforma Agenda 2030 (2021)

Segundo Magalhães e Santos (2023), embora não exista nenhum ODS específico para o setor dos transportes, a ONU observou a necessidade de investir em transporte sustentável para promover a Agenda. O setor do transporte é extremamente relevante por ter muitos atores envolvidos e por ser uma preocupação predominantemente urbana a nível mundial. Embora vista como ambiciosa, a Agenda não parece destacar o impacto que o setor de transportes tem na economia, no ambiente e no bem-estar social (MEIRA *et al.*, 2021), negligenciando os impactos deste setor (HOLDEN; GILPIN; BANISTER, 2019). Como reflexo, é possível observar uma escassez de estudos que vinculam o setor dos transportes aos dezessete ODSs (MAGALHÃES; SANTOS, 2023).

Para utilização e aumento da utilização das hidrovias sustentáveis com foco no transporte de carga, dos 17 objetivos iniciais foram identificados 12 ODSs que possuem enfoque no tema desta tese:

1. ODS 1 (Erradicação da pobreza), tem como objetivo acabar com a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares até 2030;
2. ODS 2 (Fome zero e agricultura sustentável), tem como objetivo acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável. Sendo o THI de carga fundamental nesse objetivo, pois transporta alimentos, principalmente às comunidades mais longínquas que dependem exclusivamente deste meio de transporte para seu abastecimento de carga, mercadorias e mantimentos;
3. ODS 6 (Água potável e saneamento), está sendo atendida nos tópicos 6.3 e 6.6, até 2030, melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente, e, até 2020, proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água, incluindo montanhas, florestas, zonas úmidas, rios, aquíferos e lagos, respectivamente;
4. ODS 7 (Energia limpa e acessível), onde o objetivo é assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos;
5. ODS 8 (Trabalho decente e crescimento econômico), tem como objetivo promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todas e todos;
6. ODS 9 (Indústria, inovação e infraestrutura), objetiva construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação;
7. ODS 10 (Redução das desigualdades), esse objetivo visa reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles. De forma que o THI atua de forma a diminuir principalmente os acessos as cidades, através do transporte aquaviário que por vezes se torna o único meio de transporte de algumas comunidades isoladas;
8. ODS 11 (Cidades e comunidades sustentáveis), tem como objetivo tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis, destacando o item 11.2, que diz que até 2030 deve-se proporcionar o acesso a sistemas de transporte seguros, acessíveis, sustentáveis e a preço acessível para todos, melhorando a segurança rodoviária por meio da expansão dos transportes públicos, com especial atenção para as necessidades das pessoas em situação de vulnerabilidade, mulheres, crianças, pessoas com deficiência e idosos;
9. ODS 12 (Consumo e produção sustentáveis), objetiva assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis, principalmente no que tange a garantir que as pessoas, em todos os

- lugares, tenham informação relevante e conscientização para o desenvolvimento sustentável e estilos de vida em harmonia com a natureza até 2030;
10. ODS 13 (Ação contra a mudança global do clima), que tem como objetivo tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos, onde está englobada também nas reuniões anuais da Conferência das Partes (proveniente do inglês, *Conference of the Parties – COP*) a qual tem como finalidade discutir e organizar as iniciativas sobre os impactos das mudanças climáticas, debater as obrigações básicas dos Estados, avaliar o progresso alcançado no combate às mudanças climáticas e tomar decisões sobre a implementação da Convenção;
 11. ODS 14 (Vida na água), que objetiva a conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável, com boas práticas de navegação e uso racional das águas.
 12. ODS 15 (Vida terrestre), que visa proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade.

Segundo a ONU (2023), os recursos disponíveis para investimentos nos 17 ODSs para o ano de 2022 foram da ordem de 191,3 milhões de dólares, sendo que desse valor, 105,3 milhões atendem dos 12 objetivos relacionados ao THI. Na Figura 24 estão demonstrados os objetivos correlacionados com o transporte sustentável.

Figura 24: ODSs com temática voltada ao THI Sustentável



Fonte: O Autor (2023).

3. INDICADORES DE DESEMPENHO HIDROVIÁRIO

Indicadores são métricas utilizadas para medir e avaliar o desempenho, a qualidade ou o impacto de atividades, processos, produtos, serviços ou fenômenos. Eles fornecem informações importantes que auxiliam na tomada de decisões, no monitoramento de resultados e na identificação de áreas que necessitam de melhorias.

De acordo com Kaplan e Norton (2020), os tipos de indicadores existentes incluem indicadores de desempenho, indicadores de qualidade, indicadores econômicos, indicadores sociais e indicadores ambientais. Esses indicadores são essenciais para a avaliação e melhoria contínua em diversos setores.

Kaplan e Norton (2020) afirmam ainda que os indicadores de desempenho são usados para avaliar a eficiência e eficácia de um processo ou atividade em relação aos objetivos estabelecidos. Eles são fundamentais para o gerenciamento estratégico, pois ajudam a monitorar o progresso e identificar áreas que necessitam de melhorias.

Os indicadores de qualidade medem a conformidade de produtos, serviços ou processos com os padrões de qualidade estabelecidos. Eles são cruciais para garantir a satisfação dos clientes e a melhoria contínua (GOETSCH e DAVIS, 2019).

Segundo Blanchard e Johnson (2021), os indicadores econômicos monitoram a saúde financeira de uma organização ou de uma economia, fornecendo insights importantes para a análise macroeconômica e a tomada de decisões financeiras. Já os indicadores sociais avaliam aspectos relacionados ao bem-estar social, saúde, educação e condições de vida da população. Eles são fundamentais para a formulação de políticas públicas e a avaliação de impacto social.

Os indicadores ambientais medem o impacto das atividades humanas no meio ambiente, ajudando a promover a sustentabilidade e a mitigar impactos negativos (KAPLAN e NORTON 2020).

Os indicadores de desempenho são destinados a melhorar o desempenho, identificar boas práticas e aprender com os outros. Eles podem ser vistos como uma caixa de ferramentas, permitindo aos usuários o desenvolvimento de um sistema de avaliação adequado, adaptado às suas próprias necessidades específicas. Os IDs fornecem um método eficaz e praticamente aprovado para apoiar processos de tomada de decisão, trabalhando as causas e efeitos que, direta e indiretamente influenciam o alcance de metas e resultados correspondentes (ANDRADE, 2009).

Os indicadores entram como variáveis selecionadas que podem ajudar a tornar os objetivos operacionais e reduzir a complexidade em lidar com gestão e intervenção do sistema,

podendo funcionar também como uma espécie de guias em técnicas de análise e formulação de políticas, bem como para o debate público em geral. Um indicador é considerado de desempenho quando ele demonstrar onde estão sinalizados as melhorias e o resultado da empresa. Quando indicadores são comparados com padrões ou objetivos, se tornam medidas de desempenho, medindo o desempenho de sistemas, organizações ou políticas. Já os índices de desempenho são os resultados apurados de um determinado indicador em um dado momento.

De acordo com Jeon e Amekudzi (2005), no que diz respeito à seleção de indicadores de desempenho para transporte, recomenda-se que os dados coletados sejam precisos e consistentes e com definição e padronização claras para garantir a comparação entre diferentes regiões, intervalos de tempo e veículos para fazer previsões. Por outro lado, os indicadores devem ser tão fáceis de serem compreendidos quanto possível para os formuladores de políticas, o público em geral e as partes interessadas. Quanto mais complicado o método de cálculo do indicador, menos significativo para as decisões específicas. Além disso, precisamos considerar o custo-efetividade ao fazer a coleta de dados.

Dados quantitativos referem-se a informações que são facilmente mensuráveis. Os dados qualitativos referem-se a outros tipos de informação. Os dados qualitativos podem ser quantificados usando letras ou classificações numéricas, como nível de serviço. Os valores que não são de mercado podem ser quantificados usando várias técnicas de avaliação econômica.

Os dados quantitativos são mais fáceis de analisar e muitas vezes são considerados mais objetivos do que dados qualitativos e, portanto, tendem a receber mais peso em um processo de planejamento (impactos qualitativos são frequentemente descartados como intangíveis). Os indicadores de sustentabilidade, portanto, exigem quantificar os impactos tanto quanto possível (LITMAN, 2021).

Os critérios de qualidade dos indicadores refletidos nos documentos políticos das organizações internacionais afirmam geralmente que os indicadores devem ser claros e compreensíveis, relevantes para as políticas e acessíveis, e os dados dos indicadores devem ser precisos. Na realidade, é bastante difícil satisfazer todos estes critérios. Nem sempre é possível obter dados quantitativos, uma vez que nem todos os indicadores de sustentabilidade dos transportes possuem dados de indicadores correspondentes. Isto deve-se principalmente à disponibilidade de dados e às limitações na tradução de certas variáveis em termos quantitativos (por exemplo, custos de externalidades como congestionamento, ruído etc.) (DOBRANSKYTE-NISKOTA; PERÚJO; PREGI, 2009).

Ainda de acordo com Litman (2021), os planejadores usam vários indicadores de desempenho para avaliar as condições de transporte, priorizando melhorias e operações do dia

a dia. São descritos e comparados vários indicadores de desempenho do sistema de transportes usado em três países. Estes incluem indicadores relacionados à rodovia condições (congestionamento, tempos de viagem, acidentes), eficiência do transporte de carga, emissões de poluição, qualidade de vários modos (incluindo caminhada, bicicleta e transporte público) e satisfação do usuário.

Por causa da superabundância de indicadores e da incerteza em torno da sua relevância para o tema, uma avaliação bem-sucedida dependeria de seleção cuidadosa de indicadores (IBADI, 2017). Neste sentido, é importante a contribuição dos indicadores, sendo esta uma ferramenta importante na geração de dados necessários para conhecer os processos ou fenômenos em análise. De acordo com Cifrian, Andres e Viguri (2013), um bom indicador deve ser adequado e relevante para o tema em análise, confiável, de fácil aplicação e deve possibilitar comparações. Além disto, é desejável que seja sintético, operacional e pouco custoso, dentre outras características também importantes. Nesse sentido, os indicadores são instrumentos que contribuem para identificar, medir e descrever aspectos relacionados a um determinado fenômeno ou objeto da realidade a respeito dos quais o Estado decide por uma ação ou omissão.

Em razão do acirrado ambiente competitivo em que as empresas estão inseridas, estas precisam demonstrar um elevado desempenho organizacional e principalmente monetário, a fim de alcançarem as metas e objetivos traçados (FISCHMANN; ZILBER, 2009). A principal finalidade de se avaliar o desempenho das empresas é observar a eficiência das políticas, estratégias e diretrizes adotadas por estas, também com base em informações passadas e correntes se pode prever o desempenho futuro da empresa, indicando possibilidades de alteração ou incremento de estratégias a fim de se alcançar o objetivo organizacional (HEALY; PALEPU, 2007). A principal finalidade de um indicador é, portanto, traduzir, de forma mensurável (quantitativamente) ou descritível (qualitativamente), um ou mais aspectos da realidade dada (situação social) ou construída (ação), de maneira a tornar operacional o seu acompanhamento (BRASIL, 2018).

De um modo geral, Gudmundsson (2004), afirma que a literatura representa três abordagens diferentes para fazer Transporte sustentável operacional e mensurável usando indicadores:

Na primeira abordagem 'Transporte Sustentável' serve como uma metáfora de um amplo agenda política em que as políticas de transporte levam em consideração (também) a sustentabilidade preocupações de desenvolvimento. Planejamento e avaliação de políticas neste contexto, normalmente incorporar alguns indicadores relevantes, como volumes crescentes de transporte ou emissões de dióxido de carbono do transporte.

Na segunda abordagem, 'Transporte Sustentável' é entendido literalmente como significando transporte que pode ser sustentado dadas certas limitações de tempo e espaço definido pelo meio ambiente e / ou por determinadas demandas da sociedade. Esta abordagem deriva de reflexões explícitas sobre o significado de sustentabilidade e o que medi-la implicaria no contexto mais limitado do transporte.

A terceira abordagem representa uma mistura das anteriores, em que 'literal' explorações do conceito de sustentabilidade são usadas para orientar a construção de indicadores que podem informar pesquisas ou avaliações de políticas, assinando a agenda do 'Transporte Sustentável'.

Para monitorar e orientar o investimento em infraestrutura, assim como para aumentar a segurança, a eficiência e a confiabilidade do sistema de vias navegáveis interiores do país, são necessários métricas de indicadores de desempenho apropriados. No Brasil, o DNIT, desenvolveu o Sistema Brasileiro de Classificação de Hidrovias, sendo instituído em 13 de setembro de 2016 no Boletim Administrativo nº. 172, Portaria nº. 1.635. No entanto esta Política Codificada foi baseada em “estudos e planos já publicados por Agências e Organizações no Setor Hidroviário e mais de 40 anos de pesquisas sobre os principais rios que atualmente fazem parte do Sistema Federal (SFV)”. O Sistema Brasileiro de Classificação Hidroviária define as dimensões da embarcação de projeto para comprimento e largura, e inclui um parâmetro no sistema para o mínimo profundidade operacional da hidrovia (não o calado da embarcação) (JAIMURZINA; RIGO, 2018).

Embora essa classificação seja específica para hidrovias, ela considera apenas as áreas de manutenção das hidrovias, que são alvo das atividades de fiscalização do órgão. Para o Brasil, porém, são necessários indicadores de abrangência mais ampla, por exemplo, ligados às características e especificidades operacionais das hidrovias, que não se enquadram nessa classificação. Nas hidrovias são necessárias atividades de manutenção, visando garantir as características físicas e operacionais das vias navegáveis interiores (TCU, 2006). Com as ações do Programa de Manutenção de Hidrovias, foram detectadas as ações a serem tomadas nas hidrovias, a partir dessas ações do programa a hidrovia pode ser classificada em condições de navegabilidade (*ibid*). As principais atividades de manutenção de hidrovias são (BRASIL, 2003):

- Batimetria: medição ordenada e sistematizada das profundidades de determinada área, visando à definição do perfil do fundo, ao detalhamento do leito do canal navegável e à identificação e localização de perigos à navegação, tais como pedras ou bancos de areia;

- Medição do nível das águas: as medições são feitas em estações hidrométricas, que têm por elemento principal as linhas de réguas milimétricas ou medidores eletrônicos da altura da água. As informações coletadas e registradas nas estações hidrométricas contribuem decisivamente para a segurança da navegação;
- Confecção e atualização de cartas: serviço especializado de cartografia e hidrografia que permite a geração da carta náutica e de outras cartas auxiliares de navegação;
- Confecção e atualização de cartas eletrônicas: possibilita o posicionamento instantâneo da embarcação, eliminando ou reduzindo significativamente os erros de observação e plotagem dos navegadores;
- Derrocamento: retirada de pedras ou lajes que oferecem perigo à navegação, normalmente, por explosão;
- Desobstrução do canal: retirada de objetos que impedem ou tornam perigoso o tráfego de embarcações no canal navegável da hidrovia;
- Destocamento: remoção de tocos ou cepos de árvores do leito do rio;
- Dragagem: retirada de material do fundo do leito das águas, de forma a garantir profundidades mínimas para o tráfego de embarcações de maior calado;
- Sinalização de margem: colocação de sinais nas margens da hidrovia para indicar rumos, perigos, caminhos ao navegante;
- Sinalização flutuante: conjunto de sinais flutuantes que compõem a sinalização da hidrovia, junto com a sinalização de margem. O conjunto de elementos de sinalização (de margem ou flutuante) é chamado balizamento;
- Monitoramento ambiental: as administrações hidroviárias devem realizar atividades de monitoramento ambiental para atender às exigências contidas nas licenças ambientais (condicionantes);
- Manutenção de equipamentos: algumas administrações hidroviárias dispõem de equipamentos específicos para o desempenho de suas atividades, tais como: dragas, embarcações destocadoras, rebocadores, embarcações para pesquisa e embarcações de transporte de equipes de fiscalização;
- Manutenção de eclusas: algumas administrações hidroviárias têm como uma de suas atribuições operar e manter em funcionamento as eclusas nos rios sob sua administração.

O resultado dessas ações se constitui em hidrovias com condições de navegabilidade, ou seja, diminuição da quantidade de acidentes; realização tempestiva das atividades de

manutenção; diminuição dos custos de transporte; melhor utilização dos recursos hídricos; redução de conflitos entre questões ambientais e interesses econômicos e maior fiscalização dos impactos ambientais. Essas ações citadas acima, serviram como parâmetros para definições de Indicadores de Desempenho das Hidrovias, no entanto no Plano Plurianual (PPA, 2007), só há registro de dois indicadores:

1. Taxa de navegação efetiva nas hidrovias, definida pela relação percentual entre a média dos dias de funcionamento das hidrovias no ano e os dias do ano;
2. Taxa de manutenção de hidrovias, que é a relação percentual entre o somatório dos trechos mantidos das hidrovias no ano e o somatório total das hidrovias.

Esses indicadores não possuem valores de referência nem metas definidas e não vêm sendo atualizados no Sistema de Informações Gerenciais e de Planejamento (SIGPlan) do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (PPA, 2007). Assim, esses indicadores de desempenho não vêm sendo calculados. Tanto no Brasil quanto internacionalmente, os poucos estudos de indicadores de desempenho estão principalmente voltados para o desempenho ambiental portuário (BARBOSA *et al.*, 2023).

Os principais indicadores de desempenho de hidrovias encontrados na literatura nacional e internacional são os indicadores de desempenho nacionais propostos pelo TCU (2006), a tese de Tapajós (2002) e internacionalmente, os indicadores definidos pela Associação Mundial de Pesquisa para Infraestrutura de Transportes Fluvial (PIANC). Ainda internacionalmente foram encontrados apenas indicadores de desempenho voltados à sustentabilidade (ROHÁCS; SIMONGÁTI, 2007; POSSET *et al.*, 2009; IBADI, 2017, NAG *et al.*, 2018; LITMAN, 2021).

3.1 SELEÇÃO DOS INDICADORES

Na pesquisa bibliográfica sobre indicadores na literatura nacional foram encontrados estudos com indicadores para portos, rodovias, ferrovias e sustentabilidade dos transportes. A única bibliografia nacional que aborda indicadores de desempenho específicos para hidrovias, com abordagem ampla, não apenas sustentabilidade, é a do TCU (2006). No entanto, esses indicadores propostos pelo TCU (2006) atendem apenas à área de manutenção das hidrovias, que é o objetivo da atividade fiscalizadora daquele órgão, com relação aos investimentos públicos realizados na manutenção das vias navegáveis.

A seguir estão os indicadores de desempenho propostos pelo TCU (2006), após o relatório do Programa Manutenção de Hidrovias que está inserido no PPA de 2007. Com base nos indicadores utilizados pelas administradoras hidroviárias, o Tribunal de Contas da União (TCU, 2006), propôs a padronização dos indicadores de desempenho para todas as hidrovias de acordo com a Tabela 4. Visando subsidiar o gerenciamento do Programa Manutenção de Hidrovias, propõe que sejam instituídos e acompanhados indicadores de desempenho. As metas para os indicadores devem ficar a cargo do DNIT, em conjunto com as administrações hidroviárias. Esses indicadores, deverão ser calculados para cada hidrovia, separadamente, visando realizar uma comparação temporal e assim possibilitar ao gestor acompanhar de forma mais eficaz os resultados do programa em cada região.

Tabela 4: Indicadores de Desempenho proposto pelo TCU

Indicador	Periodicidade	Fórmula de cálculo e análise do indicador
Taxa de navegação na hidrovia	Anual	Número de dias navegados dividido pelo número de dias navegáveis. O ideal é que esse índice se aproxime de 1. Valores menores que 1 significam subutilização da hidrovia, em razão, por exemplo, de interrupção de tráfego por falta de manutenção.
Taxa de utilização da hidrovia	Anual	Volume de carga transportada (em toneladas) dividido pela meta estabelecida. Se a taxa for menor que 1, indicará que houve subutilização da hidrovia, ou seja, o volume de carga transportado foi menor do que o que seria possível, tendo em vista a atividade econômica da região e a capacidade da hidrovia.
Custo de manutenção da hidrovia	Anual	Custo de Manutenção anual dividido pela extensão da hidrovia em quilômetros. Embora não seja razoável comparar os custos entre as administrações hidroviárias, devido as diferentes características de cada uma delas, esse indicador poderá auxiliar o gestor no planejamento das intervenções de manutenção e no acompanhamento da evolução ao longo do tempo. Além disso, fornecerá elementos para que o gestor negocie parcerias com os usuários.
Proporção de custo operacional da administração hidroviária	Anual	Custeio operacional da administração hidroviária dividido pelo custeio total (administrativo + operacional) da administração hidroviária. O ideal é que a maior parte dos recursos sejam destinados a atividades-fim da administração. Dessa forma, a relação deve ser próxima de 1 e aproximar-se da meta estabelecida pelo DNIT, considerando os desempenhos comparados das unidades aquaviárias ou administrações hidroviárias.
Percentual de eficácia da dragagem de manutenção	Anual	Volume realizado de dragagem (m ³) dividido pelo volume necessário de dragagem (m ³) x 100. O ideal é que 100% das dragagens necessárias sejam realizadas. Se o percentual for menor que 100%, é importante verificar se as dragagens não

realizadas impedem a navegação e as razões para a não realização da atividade.

Fonte: TCU (2006).

Para o Brasil, porém, é necessária uma gama mais ampla de indicadores, por exemplo, indicadores ligados às características operacionais e às questões ambientais. Dessa forma, buscou-se na bibliografia internacional estudos sobre indicadores de desempenho hidroviários, sendo que o principal é o da PIANC, proposto em 2010, com uma gama ampla de indicadores. Fundada em 1885, a PIANC é o principal parceiro para o setor governamental e privado no desenvolvimento e manutenção de portos, vias fluviais e zonas costeiras. Como uma organização não-política e sem fins lucrativos, a PIANC reúne os melhores especialistas internacionais em questões técnicas, econômicas e ambientais relacionados com a infraestrutura de transporte através da água. Os membros incluem os governos nacionais e as autoridades públicas, empresas e pessoas interessadas (PIANC, 2010).

Os indicadores de desempenho propostos pela PIANC (2010) são atribuídos a nove áreas de aplicação, onde estão distribuídos 35 indicadores de desempenho de acordo com a Tabela 5, distribuídos da seguinte forma:

1. Infraestrutura: analisar a capacidade e disponibilidade de vias navegáveis para enfatizar o seu potencial e para torná-los comparáveis a outros modos de transporte.
2. Portos: a intenção principal deste indicador de desempenho é proporcionar um padrão mínimo para permitir a avaliação neutra e avaliação comparativa da qualidade das instalações portuárias diferentes.
3. Meio ambiente: o objetivo é fortalecer o modo de transporte na escolha ambiental e auxiliar na melhoria dos processos operacionais.
4. Frota e veículos: o objetivo é fornecer informações sobre os veículos e frotas existentes, que permite decisões acertadas em planejamento de investimentos a longo prazo.
5. Carga e passageiros: utilizada como um indicador para a atratividade e competitividade dos serviços de navegação terrestre oferecidos dentro de uma região ou país. A quantidade de carga e passageiros transportados reflete a aceitação do sistema de navegação fluvial pelos usuários.
6. Tecnologia da informação e comunicação: a avaliação das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) na navegação interior é um componente essencial de uma avaliação

- de desempenho de todo o sistema. O principal propósito desta área de aplicação é detectar o estado atual dos serviços oferecidos nas vias diferentes, bem como a qualidade do serviço.
7. Desenvolvimento econômico: criação de uma perspectiva integrada, que dá uma visão sobre a competitividade e atratividade de uma região, no âmbito da navegação interior. Ele também pode ser usado para planejar futuras operações (por exemplo, número de funcionários necessários no futuro).
 8. Prevenção de acidentes: o objetivo das medidas de desempenho são para minimizar o risco para a população e para proteger o meio ambiente, garantindo o bom funcionamento da hidrovia.
 9. Segurança: usado para descrever como os bens seguros e confiáveis são transportados e armazenados e quais ações são tomadas para manter a segurança no sistema de transporte.

Tabela 5: Indicadores de desempenho propostos pela PIANC

Área	Indicador
Infraestrutura	Utilização das eclusas Disponibilidade para navegação da hidrovia Capacidade da hidrovia Dragagem/manutenção de navegação
Portos	Manuseio de capacidade Utilização da capacidade de armazenamento Tempo de espera para o serviço Utilização da capacidade de manobra
Meio Ambiente	Consumo de combustível Emissão de poluentes no ar Emissões sonoras Qualidade da água Construção e manutenção
Frota e Veículos	Manutenção, assistência técnica, suprimentos operacionais Capacidade de transporte da frota
Carga e Passageiros	Transporte de carga Tráfego de passageiros Qualidade percebida/Satisfação do usuário com a carga e transporte de passageiros
Tecnologia da Informação e Comunicação	Cobertura RIS (serviço de informação sobre tráfego fluvial) Frequência de atualização de gráficos eletrônicos do canal navegável Disponibilidade de mercado eletrônico de frete/bolsa de cargas Precisão de cartas náuticas eletrônicas Disponibilidade de informações do canal navegável eletrônico Precisão de AIS / rastreamento e localização Disponibilidade de comunicação eletrônica Disponibilidade de meios portuários, sistemas de informação
Desenvolvimento Econômico	Emprego Navegação interior/volume em relação ao produto interno bruto Impacto econômico de passageiros e transporte de carga Desenvolvimento regional e local
Prevenção de Acidentes	Lesões, mortes, danos materiais Acidentes Impacto econômico de acidentes

Segurança	Roubos Controle de acesso do sistema da via navegável
-----------	--

Fonte: Adaptado de Barbosa *et al.* (2015).

Posset *et al.* (2009) focaram na medição do desempenho do transporte hidroviário interior, revelando que os indicadores são mais do que apenas medidas de desempenho, tendo uma necessidade de uma abordagem comumente aceita que apoie o desenvolvimento de um sistema de indicadores consistente no setor de hidrovias interiores (Tabela 6).

Tabela 6: Indicadores propostos por Posset *et al.* (2019)

Área	Indicador	Definição Básica
Cargas e Passageiros	Grau de transportes executados conforme acordado contratualmente em relação aos anos anteriores.	Número de reclamações documentadas por empresa.
Desenvolvimento Econômico	Quantidade de empregos diretos e indiretos gerados com referência a um determinado período.	Funcionários da navegação interior em determinada região
Meio Ambiente	Descarga de emissão (ar)	Toneladas de CO ₂ , SO _x , NO _x etc., resultantes do transporte, relacionados com o desempenho neste domínio por outros modais.
Frotas e Veículos	Custos médios de manutenção por tkm em comparação com o valor padrão	Valor atual, operador, toneladas de porte bruto total (tdwat)/potência de acionamento, dias de uso/ano, tripulação, reparos, seguro, diversos, amortização/ depreciação, juros, empresa de transporte aéreo, custos em €/T tdwat por ano, diferencial fator de custo, faixa tdwat
Tecnologia da Informação e Comunicação	Cobertura da hidrovia com infraestrutura de AIS (sistema de identificação automática) em terra	Dados sobre a disponibilidade de equipamentos em terra
Infraestrutura	Disponibilidade da hidrovia (considerando parada total da navegação por gelo, enchente etc. dias por ano) em comparação com outros anos	Nível d'água, eclusas e barreiras, gargalos náuticos, estuários, classificação de vias navegáveis, declive, altura de queda, velocidade de escoamento
Mobilidade e Confiabilidade	Risco de quebra de uma eclusa em relação aos meses anteriores	Horas de interrupção da navegação devido a falhas eletromecânicas em eclusas e pontes nas vias navegáveis
Portos e locais de transbordo	Capacidade total de contêineres de um determinado porto, utilização, tempos médios de armazenamento	Armazéns, armazéns cobertos, racks, armazéns abertos, armazéns para materiais perigosos, armazéns especiais, armazéns alfandegados, zona franca
Segurança	Veículos	Grau de identificação de todo o sistema de veículos dentro de uma seção hidroviária específica em comparação com anos anteriores
Acidentes	Pessoas feridas por 1.000 km de embarcação	Lesões, fatalidades

Fonte: Posset *et al.* (2009).

Barbosa e Meira (2021) realizaram uma revisão sistemática de indicadores de desempenho de sustentabilidade aplicados ao transporte hidroviário interior.

A metodologia adotada se deu através da Revisão Bibliográfica Sistemática, onde em um primeiro momento, foi realizado um mapeamento dos principais estudos sobre as seguintes palavras-chaves: “Indicadores de transporte sustentável” e “Indicadores de sustentabilidade para transportes”. Para essas palavras-chaves, na base da Science Direct, foram detectados 304 resultados, com o recorte para os últimos 5 anos (2017-2021). Para o mesmo período na base do Google Scholar, foram 301 documentos, e na base da Scopus foram 147 resultados. No entanto, a gama de documentos ainda era muito abrangente e ampla para a temática de Indicadores de Sustentabilidade voltados para o Transporte Hidroviário Interior.

Assim, em um segundo momento, foi pesquisado nas bases de dados a palavra-chave “transporte hidroviário sustentável”. Na base da Science Direct foram listados 19 trabalhos no período de 2017 a 2021, o Google Scholar retornou uma resposta de 4 trabalhos, e a Scopus apresentou 37 resultados para o mesmo período.

A maioria dos trabalhos apresentou indicadores de sustentabilidade para transportes, porém, com ênfase em transporte público urbano por ônibus, ferroviário ou por bicicleta. Poucos foram os trabalhos com a temática pretendida no período selecionado para a análise deste artigo. Com isso, buscou-se documentos com tema específico objeto deste trabalho, independente de período de publicação, para a composição mais robusta e enfática do tema proposto.

A revisão teve como função fazer a identificação, avaliação e integrar os resultados obtidos, conforme os critérios pré-estabelecidos de inclusão e qualificação, que abordaram uma ou mais questões relacionadas ao estudo proposto. Alguns fatores foram utilizados para a seleção dos indicadores, dentre eles parte da metodologia de Tapajós (2002), onde, para a escolha dos indicadores, neste artigo seguiu-se 3 etapas de seleção: quanto aos critérios, quanto à definição; e quanto à determinação.

Com isso, foram selecionados 12 trabalhos mais relevantes e de pesquisadores que empreenderam a temática fim do trabalho, havendo avaliações no domínio dos transportes sustentáveis e da sustentabilidade no transporte hidroviário, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7: Conjunto de trabalhos selecionados e relevantes na literatura.

Item	Referência	Foco	Dimensões	Quantidade de Indicadores Propostos
1	Tapajós (2002)	Hidroviás	5	25
2	Rohács e Simongáti (2007)	Hidroviás	3	10
3	Dobranskyte-Niskota <i>et al.</i> (2009)	Transportes	5	21
4	Posset <i>et al.</i> (2009)	Transportes	10	10
5	PIANC (2010)	Hidroviás	9	35
6	Shiau e Liu (2013)	Transportes	4	21
7	Ibadi (2017)	Transportes	3	8
8	UNESCAP (2017)	Transportes	3	20
9	Nag <i>et al.</i> (2018)	Transportes	3	11
10	Sdoukopoulos <i>et al.</i> (2019)	Transportes	3	47
11	Litman (2021)	Transportes	3	41
12	Rao (2021)	Transportes	3	7

Fonte: Barbosa e Meira (2021).

Foram identificados 256 indicadores, distribuídos em 12 autores, Tapajós (2002), Rohács e Simongáti (2007), Dobranskyte-Niskota *et al.* (2009), Posset *et al.* (2009), PIANC (2010), Shiau e Liu (2013), Ibadi (2017), UNESCAP (2017), Nag *et al.* (2018), Sdoukopoulos *et al.* (2019), Litman (2021) e Rao (2021), que encontra-se na Tabela 20 no Apêndice A.

Em um primeiro momento, os indicadores propostos foram analisados e comparados para verificação de possíveis semelhanças, assim como foram excluídos aqueles que não possuíam a temática voltada para a área de hidroviás. Posteriormente, foram verificadas as definições de cada indicador e aqueles que possuíam paridade em seus conceitos foram agrupados em um único indicador. A seleção ainda levou em conta a reincidência dos indicadores sugeridos pelos autores. E por fim, na terceira etapa, foi verificado se os indicadores possuíam parâmetros de medição com fórmulas para aplicabilidade do indicador proposto, sendo possível assim fazer a métrica deles em análises e avaliações posteriores.

Na Tabela 8 estão dispostos os indicadores de sustentabilidade para o transporte hidroviário interior de acordo com revisão de Barbosa e Meira (2021).

Tabela 8: Indicadores de sustentabilidade para transporte hidroviário interior

Dimensão	Indicadores
Econômico	PIB e renda per capita
	Qualidade do serviço
	Construção e manutenção/infraestrutura
	Custos do transporte
	Navegação interior/volume em relação ao produto interno bruto
Social	Impacto econômico de passageiros e transporte de carga
	Acesso ao transporte para grupos vulneráveis
	Mortes/Acidentes
	Segurança
	Mobilidade e acessibilidade
	Emprego
Ambiental	Tempo de viagem
	Emissão de poluentes para a água
	Consumo de combustível
	Níveis de ruído
	Emissões de gases de efeito estufa
	Eficiência energética
	Riscos e danos ambientais
Qualidade da água	

Fonte: adaptado de Barbosa e Meira (2021).

Para Tapajós (2002), na determinação de um indicador específico de sustentabilidade para hidrovias na Amazônia identificou que quatro elementos precisariam ser identificados: 1) quanto aos critérios; 2) quanto à definição; 3) quanto aos elementos que devem ser utilizados na composição de um indicador específico; e 4º) quanto à determinação (cálculo). Para a determinação de um indicador específico também é necessário que sejam estabelecidos critérios que facilitem sua interpretação e uso.

A abordagem do presente estudo está focada na natureza especial da navegação fluvial com enfoque no desenvolvimento sustentável. É essencial detectar os parâmetros básicos, condições e influências do sistema interior de navegação hidroviária para criar uma visão geral do ambiente do sistema. Este tipo de sistema apresenta muita complexidade, muitas interdependências e uma ampla gama de diferentes *stakeholders* que influenciam o desempenho do sistema por causa de seus processos de tomada de decisão. Logo, foram selecionados os indicadores de desempenhos que possuem interrelação com o pilar da sustentabilidade (Econômico, Social e Ambiental) das Hidrovias Interiores e que podem contribuir para o desenvolvimento e sustentabilidade do transporte de carga (Tabela 9).

Além disso, parte da metodologia de Tapajós (2002) foi utilizada para a escolha dos indicadores. Porém, nesta tese seguiu-se 3 etapas de seleção: quanto aos critérios, quanto à definição; e quanto à determinação. Ao todo foram estabelecidos 9 Indicadores Globais (Critérios) e 26 Indicadores Específicos (Alternativas).

Tabela 9: Indicadores de desempenho propostos ao trabalho

Área (Critérios)	Indicador	Definição Básica
Infraestrutura	Utilização das eclusas	Tem como objetivo definir o grau de utilização das eclusas, através de informação da porcentagem do tempo total de operação em que as eclusas estão disponíveis.
	Disponibilidade para navegação da hidrovia	Principal objetivo é apresentar detalhes sobre a disponibilidade do canal hidroviário considerando 3 fatores: Estiagem, chuvas e acidentes.
	Capacidade da hidrovia	Fornece informações sobre a capacidade total de um determinado trecho hidroviário.
	Dragagem/manutenção de navegação	O principal objetivo é avaliar os custos financeiros de manutenção da infraestrutura da hidrovia.
Portos	Utilização da capacidade de armazenamento	O indicador tem por objetivo descrever a capacidade de armazenamento utilizada de um determinado porto.
	Tempo de espera para o serviço	Tem como objetivo analisar o tempo médio entre a chegada de uma embarcação a um porto e o início das atividades de transbordo.
Meio Ambiente	Consumo de combustível	Descreve a eficiência de combustível de diferentes embarcações.
	Emissão de poluentes no ar	Mede as emissões de CO2 por tonelada-km de transporte.
	Qualidade da água	Compara a quantidade de transporte de carga com a poluição de trechos de hidrovias interiores e embarcações por ano.
	Construção e manutenção	Mede o impacto ambiental da construção e manutenção da hidrovia específica em termos de cargas (emissões) para o ar e para a água.
Frota e Veículos	Manutenção, assistência técnica, suprimentos operacionais	Aponta os custos de manutenção e serviços por tonelada-km.
	Capacidade de transporte da frota	Transmite a capacidade total de transporte de uma frota específica, considerando a categorização dos diferentes tipos de embarcações.
Carga	Transporte de carga	Compreende a evolução do volume de transporte de carga e o desempenho do transporte de carga de um trecho aquaviário.
	Qualidade percebida/Satisfação do usuário com a carga	Avalia a qualidade percebida dos bens, do transporte nas vias navegáveis interiores e a correspondente satisfação dos utilizadores.
Tecnologia da Informação e Comunicação	Frequência de atualização de gráficos eletrônicos do canal navegável	O indicador mede o quão estão atualizadas as cartas náuticas fornecidas para a hidrovia específica e indicam se as atualizações são gratuitas.
	Precisão de cartas náuticas eletrônicas	Avalia a precisão das cartas navegáveis em termos de algumas variáveis.
	Disponibilidade de informações eletrônicas da via navegável	O objetivo é fornecer informações sobre a disponibilidade de informações navegáveis ao longo da hidrovia.
	Disponibilidade sistemas de informação portuário	Descreve a disponibilidade dos sistemas de informação portuário.
Desenvolvimento Econômico	Emprego	Mede o número de empregos diretos e indiretos induzidos pela navegação interior no país ou em uma região.
	Navegação interior/volume em relação ao produto interno bruto	Os indicadores comparam a proporção entre o PIB e volume total de transportes.
	Impacto econômico do transporte de carga	Mede o impacto direto e indireto do transporte de carga no sistema de navegação interior em termos de volume de negócios no PIB de um país.
	Desenvolvimento regional e local	Mede o impacto direto e indireto no desenvolvimento econômico de um porto em uma área específica. O valor é medido e quantificado na moeda local.

	Lesões, mortes, danos materiais	Mede o número de feridos, mortos e os danos em um determinado trecho da hidrovia em termos de segurança para os seres humanos envolvidos no transporte.
Prevenção de Acidentes	Acidentes	Se refere ao número de acidentes em um determinado trecho da hidrovia e determina o desempenho dessa hidrovia em termos de risco ao meio ambiente.
	Impacto econômico de acidentes	O objetivo é analisar o impacto econômico dos acidentes no transporte de cargas em relação ao volume total de transporte, considerando a natureza da mercadoria e direção dos movimentos da embarcação.
Segurança	Roubos	Tem como medir o número total de furtos/roubos em relação ao volume transportado de cargas.

Fonte: O Autor (2022).

4 MÉTODOS DE APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO

O Apoio Multicritério à Decisão (AMD) é uma ferramenta para apoiar à tomada de decisão hodiernamente utilizado no tratamento de problemas envolvendo escolha, classificação ou priorização de alternativas na presença de critérios múltiplos e conflitantes (GOMES, 2016). O AMD é caracterizado pela modelagem de problemas decisórios discretos à luz de múltiplos pontos de vista. Outra característica marcante do AMD é a sua propriedade de tratar problemas que envolvem critérios qualitativos ou avaliações subjetivas. Segundo Almeida (2013), um problema de decisão multicritério possui algumas características básicas como existência de pelo menos duas alternativas de ação, atendimento a múltiplos objetivos que muitas vezes conflitantes entre si e a existência de critérios, atributos ou dimensões para avaliar essas alternativas.

Ensslin *et al.* (2009) mostram que os modelos de avaliação multicritério apresentados na literatura pela sigla em inglês MCDA (*Multiple Criteria Decision Analysis*) foram desenvolvidos para auxiliar na avaliação de problemas complexos e incertos. Os resultados influenciados por múltiplas variáveis, por vezes conflitosas, aumentaram a complexidade do processo decisório, o que exigiu uma avaliação ponderada dos critérios presentes no problema.

Conforme Ensslin, Montibeller e Noronha (2001), o processo decisório envolve uma série de etapas. Dentre elas, a definição clara e objetiva do problema a ser resolvido é crucial, visto que ela norteará todos os demais passos. A modelagem de um problema de decisão multicritério inicia com a definição dos atores que devem participar do processo, que são o decisor, o cliente, o analista, o especialista e a terceira parte. O decisor é responsável por tomar uma decisão, quando este não possui disponibilidade, o cliente pode assumir esse papel, visto que ele é a figura mais próxima do decisor. O analista é quem tem o conhecimento do método, então ele atuará como um facilitador no processo, o especialista é o responsável por fornecer informações sobre o problema, e o terceiro será afetado pela decisão, mas não envolvido no processo de decisão.

Métodos multicritérios têm sido muito utilizados na solução de problemas de tomada de decisão, uma vez que procuram esclarecer ao decisor as possibilidades de escolhas, apoiando assim o processo decisório embasado nas informações existentes (MARIOTTONI; CANADA, 2016).

Por outro lado, há uma gama de métodos AMD, tais como: AHP - *Analytic Hierarchy Process*, (SAATY, 1980, 1999), ANP - *Analytic Network Process* (SAATY; VARGAS, 2006; SAATY; PENIWATI, 2008), TODIM (GOMES, 1989), THOR (GOMES, 1999; GOMES *et*

al., 2008), PROMETHÉE - *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations* (BRANS; MARESCHAL; VINCKE, 1984; BRANS; MARESCHAL, 1994; GOUMAS; LYGEROU, 2000; HU; CHEN, 2011) ELECTRE - *Elimination Et Choice Translation Reality* (ROY, 1968, 1978; ROY; BERTIER, 1971; ROY; SKALKA, 1984; MOUSSEAU; SLOWINSKI; ZIELNIEWICZ, 1999; ROGERS; BRUEN; MAYSTRE, 2000), MAUT - *Multiattribute Utility Theory* (KEENEY; RAIFFA, 1976), MACBETH - *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique* (BANA E COSTA, 1994), DEA – Análise Envolvória de Dados (CHARNES *et al.*, 1978) e DELPHI (DALKEY; HELMER, 1963).

O método ANP é uma generalização do AHP, permitindo iterações complexas entre níveis de decisão e atributos (YÜKSEL E DAGDERIREN, 2007). O ANP consiste em 4 passos: Construção do modelo e estrutura do problema, Comparação para-a-par e vetor prioridades, Formação da “supermatriz”, Síntese das prioridades dos critérios e alternativas e seleção das melhores alternativas (CAMP e HERNANDEZ, 2021).

Segundo Silva *et. al.* (2019), o Método de Tomada de Decisão Interativa e Multicritério (TODIM) é uma técnica desenvolvida em 1989 por Luiz Flavio Autran Monteiro Gomes e Luiz Felipe de Almeida Barbosa, que se baseia na Teoria das Prospectivas. O método destaca sua eficácia na análise multicritério complexa, permitindo a consideração de interdependências entre critérios e a incorporação de percepções subjetivas dos decisores. Este método é particularmente útil em ambientes onde as relações entre fatores são dinâmicas e interconectadas, como em planejamento estratégico e tomada de decisão em negócios.

De acordo com Machado *et al.* (2019), o método PROMETHEE é uma ferramenta amplamente utilizada na análise multicritério de decisões, especialmente em contextos em que a priorização de alternativas é necessária. Este método não apenas fornece uma priorização coerente, mas também se alinha com avaliações intuitivas, evidenciando sua robustez e aplicabilidade no apoio à decisão. No entanto, uma das principais dificuldades é a compreensão das funções de preferência por parte dos decisores, que pode atuar como uma barreira para a utilização plena do método. A necessidade de definir limites de indiferença e preferência pode ser complexa e confusa para alguns usuários, dificultando a aplicação correta do método.

Outro método AMD é o ELECTRE, sendo uma técnica de apoio à decisão que se destaca na análise multicritério, sendo amplamente aplicada em diversos setores, como engenharia, gestão ambiental e economia. O ELECTRE utiliza um sistema de dominância para eliminar opções inferiores, permitindo que apenas as alternativas mais viáveis sejam consideradas. No entanto, o estudo também aponta algumas limitações, como a dependência de limiares para a

construção das matrizes de coordenação e não coordenação, além da incapacidade do método de fornecer uma classificação completa, restringindo-se às melhores opções (JOKAR FAEZE *et al.*,2023).

Segundo Almeida *et al.* (2020), o método de apoio à decisão MAUT, é uma abordagem eficaz para a avaliação e priorização de alternativas em contextos complexos, considerando múltiplos critérios. É utilizado para determinar os pesos dos critérios, permitindo que os decisores expressassem suas preferências de forma clara e estruturada. O método apresenta diversas limitações que podem impactar sua eficácia na tomada de decisão. Uma das principais restrições é a necessidade de estabelecer uma função de utilidade para cada critério antes da aplicação do método, o que pode ser desafiador e exigir um conhecimento profundo do problema em questão. Além disso, o MAUT pressupõe que todos os decisores são racionais e consistentes em suas preferências, o que nem sempre é o caso na prática, dado que as decisões podem ser influenciadas por fatores emocionais ou contextuais.

Já o método MACBETH, é uma abordagem de apoio à decisão que combina conceitos das escolas americana e francesa, permitindo a avaliação de alternativas com base em julgamentos qualitativos sobre diferenças de atratividade. Segundo Botelho *et al.* (2021), o MACBETH facilita a comparação entre alternativas sem a necessidade de comparações par a par, utilizando normas padronizadas para aferir a atratividade relativa. Essa estrutura permite que os decisores expressem suas preferências de maneira clara e fundamentada, promovendo uma análise mais robusta e informada na tomada de decisões. Uma das principais restrições é a dificuldade em lidar com a subjetividade das avaliações qualitativas, já que as percepções dos decisores podem variar significativamente, levando a inconsistências nas comparações de atratividade entre alternativas.

A Análise Envoltória de Dados (DEA, do inglês *Data Envelopment Analysis*) é uma metodologia não paramétrica utilizada para avaliar a eficiência de unidades tomadoras de decisão (DMUs) que utilizam múltiplos insumos para produzir múltiplos produtos. Desenvolvida por Charnes *et al.* em 1978, a DEA permite a comparação entre diferentes DMUs, estabelecendo uma fronteira de eficiência que serve como referência para identificar quais unidades operam de forma eficiente e quais estão abaixo dessa fronteira (LIMA e FERREIRA, 2021).

O método tem como desvantagens a sensibilidade aos dados (pode ser sensível a variações nos dados de entrada e saída, o que pode afetar os resultados), dificuldade na interpretação (a análise dos resultados pode ser complexa, especialmente quando se trata de interpretar as frentes de eficiência) e limitações em cenários com ineficiências extremas (em

casos onde existem muitas DMUs ineficientes, a identificação precisa das unidades eficientes pode se tornar desafiadora) (GOMES *et. al.*, 2020).

Segundo Silva et al. (2021), o Delphi é uma técnica de apoio à decisão que busca construir um consenso entre especialistas por meio de rodadas sucessivas de questionários, permitindo que opiniões individuais sejam coletadas e discutidas de forma anônima. Uma das principais desvantagens é o processo longo e trabalhoso, que pode exigir várias rodadas de questionários para alcançar um consenso, resultando em um tempo considerável para a conclusão do estudo. Além disso, a dependência da seleção de especialistas pode introduzir vies nos resultados; se os especialistas escolhidos não forem representativos ou se houver uma falta de diversidade nas opiniões, isso pode afetar a qualidade das conclusões.

Um dos principais fatores para escolha do método AHP, foi a disponibilidade de software de fácil utilização (Excel) para a hierarquização dos indicadores de desempenho. Além de permitir a avaliação de coerência dos julgamentos e possuir transparência nos resultados obtidos. O método AHP ainda possui vantagem em relação a quantidade de aplicações práticas e ao número de publicações científicas existentes.

E pode ser justificado ainda para utilização na metodologia de estudo proposta por ser um método que se caracteriza pela capacidade de analisar um problema de tomada de decisão, por meio da construção de níveis hierárquicos, ou seja, para se ter uma visão global da relação complexa inerente à situação, o problema é decomposto em fatores.

O método AHP foi desenvolvido para modelar problemas desestruturados do cotidiano das pessoas, por elas tomarem decisões sem necessariamente ter a noção exata da importância dos parâmetros utilizados (SAATY, 1991). A metodologia baseia-se no princípio de que para a tomada de decisão a experiência e o conhecimento das pessoas são pelo menos tão valioso quanto os dados utilizados.

O fundamento do AHP consiste na decomposição e síntese das relações entre os critérios até que se chegue a uma priorização dos seus indicadores, aproximando-se de uma melhor resposta de medição única de desempenho (SAATY, 1991). De maneira geral, AHP é a teoria e a metodologia para medição relativa. Na medição relativa, não se está interessado na exata medição de algumas quantidades, mas sim nas proporções entre elas. A ideia central é a redução do estudo de sistemas a uma sequência de comparações aos pares.

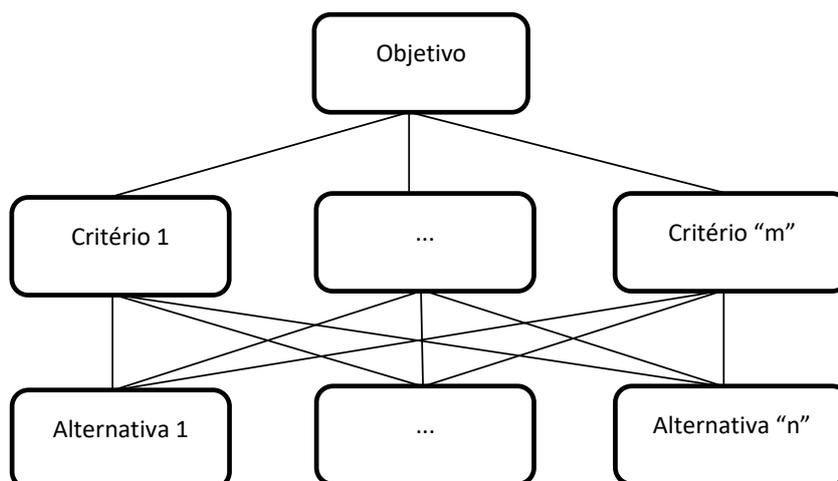
O tomador de decisão, mesmo que esteja motivado pela necessidade de prever ou controlar, geralmente enfrenta um complexo sistema de componentes correlacionados e quanto melhor ele entender este sistema, melhor será a sua previsão ou decisão. O que o tomador de decisão quer é prever o futuro, mesmo num ambiente onde existe incerteza. A incerteza, é uma

característica do indivíduo, que está olhando o problema e é gerada pela qualidade e quantidade de informações obtidas. Complexidade é uma característica do problema.

Os fatores são decompostos em um novo nível de fatores e assim por diante até determinado nível. Esses elementos, previamente selecionados, são organizados numa hierarquia descendente onde os objetivos finais devem estar no topo, seguidos de seus subobjetivos, imediatamente abaixo, as forças limitadoras dos decisores, os objetivos dos decisores e por fim, os vários resultados possíveis, os cenários. Os cenários determinam as probabilidades de se atingir os objetivos, os objetivos influenciam os decisores, os decisores guiam as forças, que, finalmente, causarão impacto nos objetivos finais. O AHP parte do geral para o mais particular e concreto.

Deste modo, a hierarquia pode ser construída em inúmeros níveis desejados, sendo fixado o objetivo principal no primeiro nível, a definição dos critérios no segundo nível e assim por diante. A ordenação serve para dois propósitos: fornece uma visão global da relação complexa inerente à situação e, ajudar o tomador de decisão a avaliar se os critérios de cada nível são da mesma ordem de magnitude, assim ele pode comparar cada elemento homogêneo apuradamente. O processo permite estruturar hierarquicamente qualquer problema complexo, com múltiplos critérios; com múltiplos decisores; com múltiplos períodos. É um processo flexível, que apela para a lógica e ao mesmo tempo, utiliza a intuição. O ingrediente principal que tem levado as aplicações com o AHP a terem sucesso é o poder de incluir e medir fatores importantes, qualitativos e/ou quantitativos, sejam eles, tangíveis ou intangíveis, e a facilidade de uso. Na aplicação são consideradas as diferenças e os conflitos de opiniões. Dessa forma, segundo Costa (2002), este método baseia-se em três etapas de pensamento analítico:

1. Construção de hierarquias: no método AHP o problema é estruturado em níveis hierárquicos, o que facilita a melhor compreensão e avaliação do mesmo (Figura 25).

Figura 25: Matriz hierárquica de decisão

Fonte: Saaty (1991).

2. Definição de prioridades: após a montagem da hierarquia, inicia-se a análise dos elementos integrantes do processo. Os elementos são comparados, por especialistas, par a par, facilitando a percepção deles. As comparações entre elementos qualitativos são de difícil compreensão, porém, a utilização de uma escala facilita esse processo. Essa comparação dos elementos é apresentada através de formulários, que utilizam como critérios de comparação uma escala de valores proposta por Saaty (1991), conforme exposto na Tabela 10.

Tabela 10: Escala numérica de Saaty

Escala numérica	Escala verbal	Explicação
1	Mesma importância	Ambos os elementos contribuem com o objetivo de igual forma.
3	Importância pouco maior	A experiência e a opinião favorecem um elemento sobre o outro.
5	Importância maior	Um elemento é fortemente favorecido.
7	Importância muito maior	Um elemento é muito fortemente favorecido sobre o outro.
9	Importância absoluta	Um elemento é favorecido pelo menos com uma ordem de magnitude de diferença.
2,4,6,8	Valores intermediários entre as opiniões adjacentes	Usados como valores de consenso entre as opiniões.

Fonte: Saaty (1991).

É na prioridade dos níveis mais altos que o consenso é necessário, pois as prioridades orientarão o resto da hierarquia. Em cada nível, deve ser assegurada a independência e diferença dos critérios, e que estas diferenças possam ser capturadas como propriedades independentes

no nível (SAATY, 1991). À medida que se desce na hierarquia é esperada uma maior variedade de opiniões entre pessoas compatíveis, a nível operacional. Em ambientes de cooperação, o processo desenvolve-se de forma mais eficiente, quando os participantes têm os mesmos objetivos, contato íntimo mais duradouro, trabalham em ambiente de aceitação social e gozam do mesmo status quando participam. Os resultados das comparações par a par entre os níveis inserem-se numa matriz de referência, a qual se apresenta sob a seguinte forma apresentada na Equação 1:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ 1/a_{1n} & \cdot & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Onde:

- Se $a_{ij} = x$, então $a_{ji} = 1/x$;
 - Se uma alternativa c_i é julgada de igual importância relativa que outra c_j , então $a_{ij} = i$ e $a_{ji} = i$ e especificamente $a_{ii} = 1$, para todo i , um elemento é igualmente importante quando comparado com ele próprio. Portanto, a diagonal principal de uma matriz tem de consistir em números 1.
3. Consistência lógica: esta etapa consiste no cálculo dos pesos dos componentes dentro da hierarquia, assim como da consistência dos julgamentos dos participantes. Com os resultados da pesquisa dos especialistas através de formulários, os dados são inseridos na matriz, achando-se a comparação e com isso os autovetores e autovalores. O autovetor dá a ordem de prioridade e o autovalor é a medida de consistência do julgamento.

O principal autovetor é calculado e normalizado para se tornar no vetor de prioridades. A consistência de uma matriz positiva recíproca é equivalente a requerimentos de que o seu autovalor máximo $\lambda_{\text{máx}}$ deveria ser igual a n . Quanto mais próximo $\lambda_{\text{máx}}$ for de n mais consistente será o resultado.

Ao fazer a comparação partida para relacionar em n atividades de modo que cada uma seja representada nos dados, pelo menos uma vez, precisamos de $n-1$ comparações partidas. Adicionalmente, para a maioria dos problemas é muito difícil identificar $n-1$ julgamentos que relacionam todas as atividades e sobre os quais estejamos absolutamente certos.

A inconsistência surge quando algumas opiniões da matriz de comparação se contradizem com outras. Por isso, é importante verificar a consistência das opiniões efetuando uma série de cálculos que indicam consistência ou não da matriz de comparação. De acordo com Marins *et al.* (2006), os procedimentos para o cálculo do Índice de Consistência (IC) são:

- Para cada linha da matriz de comparação determinar a soma ponderada, com base na soma do produto de cada valor da mesma pela prioridade da alternativa correspondente;
- Depois os resultados obtidos deverão ser divididos pelos vetores da respectiva matriz;
- Fazendo uma média dos resultados de cada linha, obteremos $\lambda_{\text{máx}}$;
- Podemos calcular o (IC) por meio da Equação 2.

$$IC = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1} \quad (2)$$

Sendo:

- $\lambda_{\text{máx}}$: autovalor máximo;
- n: número de variáveis.

Saaty (1991) criou o chamado Índice Randômico (IR), representados na Tabela 11 que corresponde ao IC médio de 500 matrizes de ordem n geradas aleatoriamente.

Tabela 11: Índice Randômico

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IR	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,56	1,59

Fonte: Saaty (1991).

Para a verificação da consistência dos julgamentos deve-se calcular a Razão de Consistência (RC) de uma matriz por meio da Equação 3.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (3)$$

Sendo:

- IC: Índice de Consistência;
- Ir: Índice Randômico.

Se $RC < 0,1$ a consistência é satisfatória, caso contrário os julgamentos devem ser revistos (SAATY, 1991). A Figura 26 mostra a montagem de um fluxograma para a construção do AHP.

Figura 26: Fluxograma para composição do AHP



Fonte: O Autor (2023).

No caso de o 3º passo (consistência lógica), não for satisfatório, é necessário voltar ao passo 2 (definição de prioridades) e refazer a pesquisa com os especialistas para que eles reavaliem suas prioridades.

5 METODOLOGIA

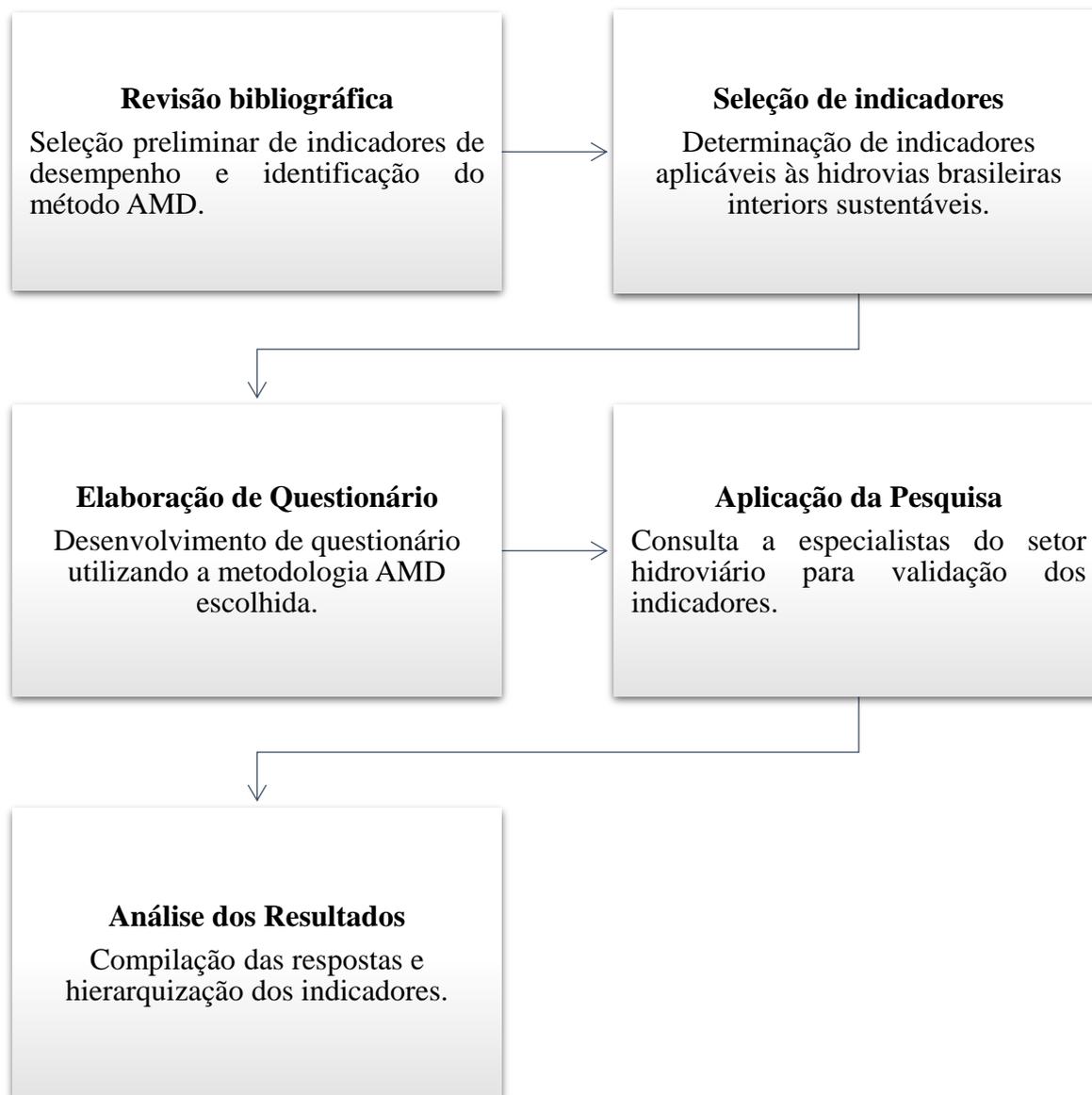
Neste item estão descritas as etapas que foram seguidas para alcançar os objetivos fixados para o estudo. Inicialmente, a etapa da revisão de literatura foi utilizada para uma seleção preliminar de indicadores de desempenho no contexto hidroviário visando o desenvolvimento sustentável, assim como a identificação do Método de Apoio à Decisão. No passo seguinte foram determinados um conjunto de indicadores de desempenho aplicado às hidrovias brasileiras interiores para o transporte de carga, identificados na literatura nacional e internacional. Em seguida os indicadores foram categorizados em globais e específicos.

Por conseguinte, foi elaborado questionário utilizando metodologia de análise multicritério escolhida (AHP) buscando obter a importância relativa dos indicadores e definição dos pesos dos indicadores. Em sequência, um questionário foi aplicado a especialistas da área (agências reguladoras, administrações hidroviárias, empresas de transporte hidroviário, pesquisadores da área de transportes, entre outros profissionais), para validar os critérios e os indicadores selecionados na etapa anterior.

Uma vez aplicada a pesquisa e as respostas compiladas através de uma planilha eletrônica no software Microsoft Excel, os indicadores estão prontos, e a fase subsequente consistiu em realizar uma análise das relações de causa e efeito entre os diferentes critérios de medição de desempenho do modelo proposto. Com a identificação dos indicadores, tanto os específicos para Hidrovias, quanto os de forma geral aplicado aos transportes, pôde-se selecionar quais pode ser aplicado a pesquisa. Após a mescla de indicadores, foram excluídos alguns indicadores (exemplo daqueles específicos para passageiros) e os dúbios foram definidos em um único indicador.

Com relação às áreas de aplicação (Indicadores Globais), foram mantidos os indicadores propostos pela PIANC, visto que estão em paridade com os propostos por Posset *et al.* (2019). Esses indicadores abrangem quase todas as dimensões de sustentabilidade. Logo, os indicadores escolhidos ao transporte hidroviário interior de carga após o refinamento foram os estabelecidos na Tabela 12. Os indicadores escolhidos possuem parâmetros básicos para medição. Desta forma, podem ser aplicados na avaliação das Hidrovias Brasileiras interiores para o transporte de carga com enfoque na sustentabilidade.

As etapas seguidas na metodologia do trabalho estão exemplificadas no Figura 27 abaixo.

Figura 277: Esquema metodológico do trabalho

Fonte: O Autor (2022).

Tabela 122: Indicadores de desempenho escolhidos para o trabalho

Área	Indicador Específico	Métrica	Unidade	Medição	Descrição	
Infraestrutura	Utilização das eclusas	$\frac{N.câm.ecl.A + N.câm.ecl.B}{h.func/mês}$	h/mês	Mensal	Número médio de ativações de eclusas por hora de operação. Onde: N.câm.ecl.A/B - número total de câmaras da eclusa A/B por mês. h.func/mês - horas de funcionamento por mês.	
		$\frac{(m^2.ecl. A + m^2.ecl. B) * 100}{Cap.câm.A + Cap.câm.B}$	%		Utilização média da capacidade de eclusas por câmara Onde: m².ecl.A/mês - metros quadrados utilizados em média, por ativação de eclusa para bloqueio da câmara A por mês. cap. câm.A/B - capacidade total em metros quadrados de câmara A/B.	
		$\frac{\sum Nemb. / mês * temp.categ}{N.ecl.A/mês + N.ecl.B/mês}$	h/mês		Tempo médio de espera na frente da eclusa. Onde: Nemb - número de embarcações que cobrem a distância de 1 km até a entrada da eclusa e acessam a eclusa de acordo com os parâmetros determinados pelo tempo de categorização (ou seja, 0 - 30 min, 31-60 min). temp.categ - tempo de espera padrão por categoria, por exemplo, 15 min. para a 0-30 min. N.ecl - Número total de eclusas/mês	
	Disponibilidade para navegação da hidrovia	Disponibilidade para navegação da hidrovia	$\frac{365 - Par. total}{Dias navegáveis}$	Dias/ano	Semanal	O principal objetivo do indicador, é apresentar detalhes sobre a disponibilidade do canal principal. Onde: Par.total - parada total de navegação em uma seção fluvial específica medido em dias por ano. Dias Navegáveis : Total de dias navegáveis por ano.
			$\frac{Par. cheia}{Dias navegáveis}$	Dias/ano		Parada de navegação devido a cheia. Onde: Par.cheia - Parada de navegação em uma seção fluvial, devido à cheia em dias por ano. Dias Navegáveis : Total de dias navegáveis por ano.
		$\frac{Dias nav. estiagem}{Dias navegáveis}$	Dias/ano	Parada de navegação devido a estiagem. Onde: Dias nav.estiagem - Dias navegáveis abaixo do valor de projeto por lâmina d'água abaixo da mínima necessária (estiagem) em dias por ano. Dias Navegáveis : Total de dias navegáveis por ano.		
		$\frac{Par.acidentes}{Dias Navegáveis}$	Dias/ano	Parada de navegação devido a acidentes. Onde: Par.acidentes - Parar de navegar em uma seção fluvial devido a acidentes em dias por ano. Dias Navegáveis : Total de dias navegáveis por ano.		

	Capacidade da hidrovia	$\frac{\text{Op. h/dia} * 365}{\text{Tmed}} \times \text{Cap}(t)$	ton/ano	Anual	<p>Capacidade de transporte de carga, de um determinado trecho da hidrovia, em um período de tempo definido.</p> <p>Op.h/dia: Horas de operação/dia.</p> <p>Tmed: Tempo médio de travamento dependente do desempenho técnico da trava.</p> <p>Cap. (t): Capacidade da eclusa de lidar com determinado volume de transporte (t).</p>
	Dragagem/manutenção de navegação	$\frac{\text{Cust/ano}}{\text{Tkm}}$	R\$/ton	Anual	<p>Analisa a eficiência de custo de um trecho hidroviário específico. Cust/ano: Custos totais de manutenção de um trecho hidroviário/ano</p> <p>Tkm: Total de km no trecho hidroviário</p> <p>Cust/ano: Custos totais de manutenção de um trecho hidroviário/ano</p> <p>Tt.km: Total de toneladas.km no trecho hidroviário</p>
		$\frac{\text{Cust/ano}}{\text{Tt. km}}$	R\$/ton.km		
		$\frac{\text{Vol. drag}}{\text{Tt. km}} * 100$	m ³		
Portos	Utilização da capacidade de armazenamento	$\frac{\text{Cap. armaz. méd.}}{\text{Cap. armaz. total}} * 100$	%	Mensal	<p>Descreve a capacidade de armazenamento utilizada de um determinado porto.</p> <p>Onde: Cap.armaz.med.(m³) -capacidade de armazenamento médio utilizado mensalmente de acordo com grupo de mercadorias, o modo de transbordo e tipo transbordo em m³.</p> <p>Cap.armaz.total (m³): capacidade total de armazenamento disponível de acordo com o grupo de mercadorias, o modo de transbordo e tipo transbordo em m³.</p>
	Tempo de espera para o serviço	$\frac{\text{Tot. emb. transb./mês} * 100}{\text{Tot. emb/mês}}$	%	Mensal	<p>Analisa o tempo médio entre a chegada de uma embarcação no porto e o início das atividades de transbordo.</p> <p>Tot.emb.transb./mês: Número total de embarcações que chegam iniciados a operação de transbordo, dentro de um intervalo X de minutos.</p> <p>Tot.emb/mês: Número total de chegada de embarcações/mês.</p>
Meio Ambiente	Consumo de combustível	$\frac{\text{Cons. comb. (kg)}}{\text{Carga}(t) \times \text{Dist. (km)}} * 100$	Cons. Comb./t.km	Anual	<p>Descrever a eficiência de combustível de diferentes embarcações e motores.</p> <p>Onde: Cons. comb. - Consumo de combustível da embarcação em quilogramas classificados de acordo com o tipo de motor e os valores de consumo médio relacionados.</p> <p>Carga(t) - carga total em toneladas transportadas por embarcações de acordo com a categorização</p> <p>Dist.(km) - distância de transporte total em quilômetros viajados por embarcações de acordo com a categorização.</p>

	Emissão de poluentes no ar	$\frac{\text{teor de carbono/litro de diesel}}{0,99}$	g/t.km	Anual	Emissão de poluentes no ar. Onde: 0,99 é fator de oxidação do óleo e produtos petrolíferos (PIANC, 2010). *1 litro de diesel ≈0,99 kilograma
	Qualidade da água	$\frac{\text{Água porão/m}^3}{\text{Tot. carg. trans./mês}}$	m³/t	Mensal	Compara a quantidade de transporte de carga da navegação interior com a poluição de trechos de hidrovias por ano. *Poluentes lançados pelas embarcações. Água porão/m³: Água de porão medido em m³ em determinado ponto. Tot.carg.trans./mês: Volume total de carga em ton/mês de um trecho hidroviário
	Construção e manutenção	$V_{c,ar} = \sum_i \frac{G_{ci}}{\gamma_i} \times \sum_i \frac{B_{j,ar}}{B_{0j,ar}}$	m³	Anual	Volume crítico de poluição do ar e da água devido à construção de hidrovia. Onde: Gci - total da massa do mat. da construção (t) γ_i = peso específico do mat.(t/m³) Bj,ar-Bj,água - Emissões (kg/(m³) de material i de poluentes j de ar e de água como resultado de ganhos e processamento de 1 m³ de material i. Boj,ar-Boj,água - (kg/m³) de ar ou água de poluentes j em resp. ar ou água.
		$V_{c,água} = \sum_i \frac{G_{ci}}{\gamma_i} \times \sum_i \frac{B_{j,água}}{B_{0j,água}}$			
		$V_{c,ar} = \sum_i \frac{G_{mi}}{\gamma_i} \times \sum_i \frac{B_{j,ar}}{B_{0j,ar}}$	m³		Volume crítico de poluição do ar e da água, devido a manutenção das vias navegáveis. Onde: Gmi - total da massa da manutenção da hidrovia (t)
		$V_{c,água} = \sum_i \frac{G_{mi}}{\gamma_i} \times \sum_i \frac{B_{j,água}}{B_{0j,água}}$			
Frota e Veículos	Manutenção, assistência técnica, suprimentos operacionais	$\frac{\text{Cust. tot. emb./mês}}{\text{Tot. carg. transp./mês}}$	R\$/ton-km	Mensal	Custos de manutenção e serviço por tonelada-km. Cust.tot.emb./mês: Custos totais de manutenção relativos a um tipo específico de embarcação/mês. Tot.carg.transp./mês: Total de carga transportada referente a um determinado tipo de embarcação em ton/mês.
		$\frac{\text{Cust. tot. serv./mês}}{\text{Tot. carg. transp./mês}}$	R\$/ton-km	Mensal	Cust.tot.serv./mês: Custos totais de serviços (custo com pessoal, seguro, depreciação...) relativos a um tipo específico de embarcação/mês.
		$\frac{\text{Cust. tot. supr./mês}}{\text{Tot. carg. transp./mês}}$	R\$/ton-km	Mensal	Cust.tot.supr./mês: Custos totais de suprimentos operacionais (diesel, lubrificantes...) relativos a um tipo específico de embarcação/mês.

	$\frac{\text{Cust. tot. emb.} + \text{Cust. tot. serv.} + \text{Cust. tot. supr.}}{\text{Tot. carg. transp. frota/mês}}$	R\$/ton-km	Mensal	Tot.carg.transp.frota/mês: Quantidade total de carga transportada em relação a frota em ton/mês.	
Capacidade de transporte da frota	Capacidade de toda frota especificada	%	Mensal	Mostra o tamanho ou a quantidade de capacidade de uma frota.	
	$\frac{\text{Tot. carg. transp.}}{\text{Capacidade da frota}}$	Ton/TEU	Mensal	Tot.carg.trasp.: Quantidade total de carga transportada referente à frota definida em ton/mês, considerando modo de transbordo e tipo de embarcação.	
	$\frac{\text{Tot. car. ton./mês}}{\text{Comp. ano. ant.}} * 100$	%	Mensal	Evolução do volume total de transporte de carga. Tot.car.ton/mês: Volume total de transporte de carga em ton/mês de um trecho hidroviário de acordo com o modo do transbordo e tipo de mercadoria. Comp.ano.ant.: Valor comparativo do ano anterior.	
Carga	Transporte de carga	$\frac{\text{Tot. car. ton. -km/mês}}{\text{Comp. ano. ant.}} * 100$	Ton-km	Mensal	Desempenho total do transporte de carga. Tot.car.ton-km/mês: Desempenho total do transporte de carga em ton-km/mês de um trecho hidroviário de acordo com o modo do transbordo e tipo de mercadoria.
		$\frac{\text{Tot. viag. sem. car./mês}}{\text{Tot. viag./mês}} * 100$	%	Mensal	Compartilhamento de viagem ociosa. Tot.viag.sem.car./mês: Número total de viagens sem carga ao longo de um trecho hidroviário. Tot.viag./mês: Número total de viagens ao longo de um trecho hidroviário por mês.
	Qualidade percebida/Satisfação do usuário com a carga	$\frac{\text{Tot. viag.} - \text{Tot. desv. reg.}}{\text{Tot. viag./mês}} * 100$	%	Mensal	Avaliar a qualidade percebida dos produtos e transporte ao longo das vias navegáveis interiores. Onde: Tot.viag. - Número total de viagens por mês ao longo de uma seção fluvial, categorizados em tipo de transporte, tipo de serviço, o modo de transbordo e grupos de mercadorias. Tot.desv.reg. - Número total de desvios registrados de acordo com os acordos contratuais categorizados em tipo de transporte, tipo de serviço, o modo de transbordo e grupos de mercadorias por mês.

Tecnologia da Informação e Comunicação	Frequência de atualização de gráficos eletrônicos do canal navegável	A atualização das Cartas Náuticas são gratuitas? Com que frequência as cartas são atualizadas?	Sim/Não Mensal, Trimestral, Semestral, Anual	Anual	Mede a frequência de atualização das cartas fornecidas para as hidrovias, e se estas atualizações são gratuitas.
	Precisão de cartas náuticas eletrônicas	Precisão do conteúdo da carta topográfica Desvio abaixo de 10 cm 10cm – 20cm 21cm – 30cm 31cm – 40cm 41cm – 50cm Desvio acima de 50 cm	cm	Anual	Precisão do conteúdo da carta topográfica.
	Disponibilidade de informações eletrônicas da via navegável	Nível da água? Previsão do nível da água? Serviço de manutenção? Parada da navegação devido a eventos planejados? Disponibilidade de infraestrutura?	Sim/Não	Anual	Garantir a disponibilidade de informações de via navegável X ao longo da seção de hidrovia Y dentro do período de tempo Z.
	Disponibilidade sistemas de informação portuário	Disponibilidade de sistema de informação portuária dentro do regime aquaviário.	Sim/Não	Anual	Objetivo de reduzir o tempo de espera para atendimento em frente aos portos, fornecendo informações precisas.
	Desenvolvimento Econômico	Emprego	$\frac{\text{Tot. emp. dir/ano}}{\text{Valor ano ant.}} * 100$	%	Trimestral
$\frac{\text{Tot. emp. indir/ano}}{\text{Valor ano ant.}} * 100$			%	Trimestral	Mede o número de empregos indiretos (carga), gerados pela navegação interior em um país ou região. Tot.emp.indir/ano: Número de empregos gerados indiretamente (carga). Valor ano ant.: Valor comparativo do ano anterior.
Navegação interior/ volume em relação ao PIB		$\frac{\text{Des. vol. tot. transp.}}{\text{PIB anual}} * 100$	%	Anual	Desenvolvimento do volume total de transporte de carga Onde: Des.vol.tot.transp. - Desenvolvimento do volume total de transporte em vias navegáveis interiores dentro do país e de um período de um ano diferenciado por grupos de mercadorias PIB anual – Produto interno bruto anual do país.

	Impacto econômico de transporte de carga	Participação no faturamento do transporte de carga do PIB anual $\frac{\text{Vol. neg. tot. transp. carga}}{\text{PIB anual}} * 100$	%	Anual	Esse indicador mede o impacto direto e indireto do transporte de cargas dentro do sistema de navegação interior em termos de volume de negócios no PIB de um país. Onde: Vol.neg.tot.transp.carga - volume de negócios total gerado pelo transporte de carga dentro de uma região determinada, por um período de tempo. PIB anual – Produto interno bruto anual do país.
	Desenvolvimento regional e local	$\frac{\text{Vol. neg. tot. port}}{\text{PIB anual}} * 100$	%	Anual	Esse indicador mede o impacto direto e indireto do desenvolvimento econômico de um porto. O valor agregado é medido e quantificado na moeda local. Vol.neg.tot.port: Volume total de negócios das empresas localizadas na área portuária/ano. PIB anual – Produto interno bruto anual do país.
Prevenção de Acidentes		$\frac{\text{Num. lesões}}{\text{Tot. tkm. hidr.}} * 100$	Lesões/tkm	Anual	Lesões/ton-km Num.lesões: Número de lesões em uma seção da hidrovia, por um período de tempo. Tot.tkm.hidr: Número total de toneladas-quilômetros percorridos dentro de uma seção hidroviária por um período de tempo.
	Lesões, mortes, danos materiais	$\frac{\text{Num. fatal.}}{\text{Tot. tkm. hidr.}} * 100$	Mortes/tkm	Anual	Fatalidades/ton-km Num.fatal.: Número de lesões em uma seção da hidrovia, por um período de tempo. Tot.tkm.hidr: Número total de toneladas-quilômetros percorridos dentro de uma seção hidroviária por um período de tempo.
		$\frac{\text{Num. danos}}{\text{Tot. tkm. hidr.}} * 100$	Danos/tkm	Anual	Danos/ton-km Num.danos: Número de lesões em uma seção da hidrovia, por um período de tempo. Tot.tkm.hidr: Número total de toneladas-quilômetros percorridos dentro de uma seção hidroviária por um período de tempo.
	Acidentes	$\frac{\text{Tot. Acid/ano}}{\text{Ton. km. per.}}$	Acidentes/ton-km	Anual	Mede o número acidentes ao longo da hidrovia. Acidentes/ton-km Tot.Acid/ano: Número total de acidente em um trecho hidroviário em um determinado período de tempo. Ton.km.perc.: Total de quilômetros percorridos dentro de um trecho hidroviário em um determinado período de tempo.

Segurança	Impacto econômico de acidentes	$\frac{\text{Cust. tot. carg.} + \text{Per. tot. luc}}{\text{Vol. tot. carg.}}$	%	Semestral	<p>Esse indicador descreve o impacto econômico dos acidentes.</p> <p>Cust.tot.carg: Custo total de acidente para transporte de carga dentro de um trecho hidroviário de acordo com o tipo de mercadoria.</p> <p>Per.tot.luc: Perda total de lucro referente ao transporte de carga dentro de um trecho hidroviário de acordo com o tipo de mercadoria.</p> <p>Vol.tot.carg.: Volume total de carga transportada dentro de um trecho hidroviário de acordo com o tipo de mercadoria.</p>
	Roubos	$\frac{\text{N}^\circ \text{ de roubos/mês}}{\text{Total vol. transp./mês}}$	roubos/t	Anual	<p>Mede o número total de roubos em relação ao volume de transporte de carga.</p> <p>Onde: Nº de roubos/mês – número total de roubos dentro de uma seção fluvial por mês.</p> <p>Total vol. transp./mês – Número total de furtos em relação a carga.</p>

Fonte: o Autor (2023).

Os indicadores demonstrados na Tabela 13 de forma resumida, foram organizados e apresentados em forma de hierarquia (Figura 28), de acordo com a primeira etapa do pensamento analítico do método AHP que é a construção das hierarquias.

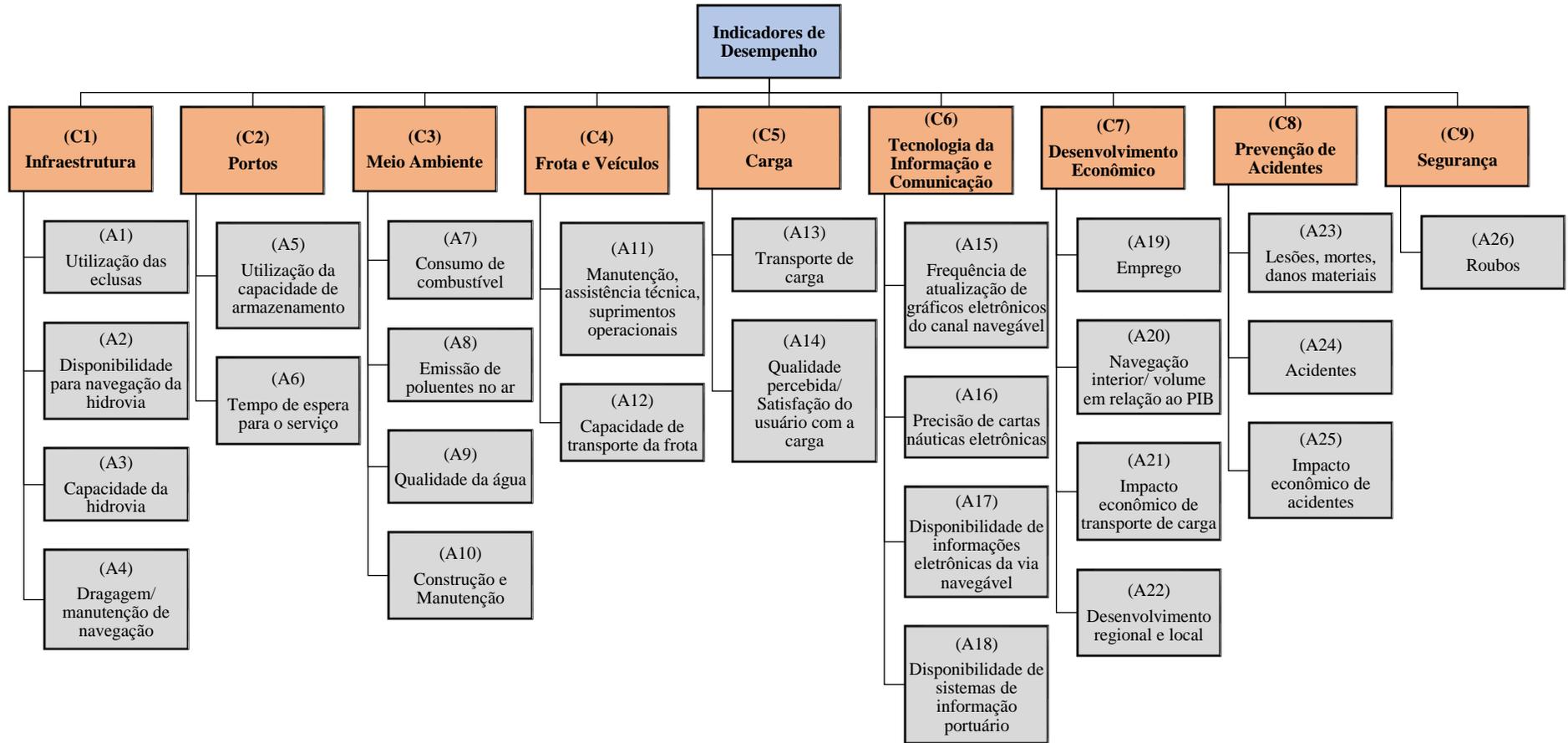
Tabela 133: Indicadores Globais e específicos

Indicador Global (Critérios)	Indicador Específico (Alternativas)
(C1) Infraestrutura	(A1) Utilização das eclusas
	(A2) Disponibilidade para navegação da hidrovia
	(A3) Capacidade da hidrovia
	(A4) Dragagem/manutenção de navegação
(C2) Portos	(A5) Utilização da capacidade de armazenamento
	(A6) Tempo de espera para o serviço
(C3) Meio Ambiente	(A7) Consumo de combustível
	(A8) Emissão de poluentes no ar
	(A9) Qualidade da água
	(A10) Construção e Manutenção
(C4) Frota e Veículos	(A11) Manutenção, assistência técnica, suprimentos operacionais
	(A12) Capacidade de transporte da frota
(C5) Carga	(A13) Transporte de carga
	(A14) Qualidade percebida/Satisfação do usuário com a carga
(C6) Tecnologia da Informação e Comunicação	(A15) Frequência de atualização de gráficos eletrônicos do canal navegável
	(A16) Precisão de cartas náuticas eletrônicas
	(A17) Disponibilidade de informações eletrônicas da via navegável
	(A18) Disponibilidade de sistemas de informação portuário
(C7) Desenvolvimento Econômico	(A19) Emprego
	(A20) Navegação interior/ volume em relação ao PIB
	(A21) Impacto econômico de transporte de carga
	(A22) Desenvolvimento regional e local
(C8) Prevenção de Acidentes	(A23) Lesões, mortes, danos materiais
	(A24) Acidentes
	(A25) Impacto econômico de acidentes
(C9) Segurança	(A26) Roubos

Fonte: o Autor (2023).

A segunda etapa após a montagem da hierarquia é a definição das prioridades, onde se inicia a montagem dos elementos integrantes do processo. A definição das prioridades pode ser vista na Tabela 8 de acordo com a escala numérica de *Saaty*.

Figura 288: Indicadores de Desempenho para as Hidrovias Brasileiras Interiores Sustentáveis



Fonte: o Autor (2023).



O consenso sobre a priorização dos níveis mais altos (Indicadores Globais/critérios) é necessário, pois as prioridades determinam o resto da hierarquia. Em cada nível devemos garantir que os critérios sejam independentes e distintos e que essas diferenças possam ser capturadas como propriedades independentes no nível.

Conforme você desce na hierarquia espera maior diversidade de opinião entre pessoas compatíveis no mesmo nível. Em locais colaborativos, o processo se desenvolve de forma mais eficaz quando os participantes têm os mesmos objetivos, estão em contato mais próximo e sustentado, trabalham em um ambiente de aceitação social e desfrutam de status igual quando participam. Os resultados das comparações pareadas entre os níveis são introduzidos na matriz de referência. A Tabela 14 demonstra um exemplo ilustrativo de uma matriz com seus elementos e pesos.

Tabela 144: Exemplo de matriz com seus critérios e pesos

Indicadores Globais/ Critérios	Infraestrutura	Segurança	Meio Ambiente	Desenvolvimento Econômico
Infraestrutura	1	5	5	9
Segurança	1/5	1	1/7	7
Meio Ambiente	1/5	7	1	1
Desenvolvimento Econômico	1/9	1/7	1	1

Fonte: o Autor (2023).

A Tabela 14 apresenta a simulação de uma série de respostas de um especialista entrevistado. Ela pode ser lida de acordo com a Escala numérica de Saaty (1991):

- A Infraestrutura tem importância maior que a Segurança;
- A Infraestrutura tem importância maior que o Meio Ambiente;
- A Infraestrutura possui importância absoluta que o Desenvolvimento Econômico;
- A Segurança possui importância muito maior do que o Desenvolvimento Econômico;
- O Meio Ambiente possui importância muito maior sobre a Segurança;
- O Desenvolvimento Econômico possui a mesma importância do Meio Ambiente.

Os valores que estiverem acima da diagonal principal deverão ser preenchidos primeiramente. Após isso, os elementos abaixo da diagonal principal serão o inverso, conforme metodologia criada por Saaty (1991).

Dessa forma, dois questionários foram montados com os pares de Indicadores Globais (critérios) e dos indicadores específicos (alternativas) para o envio aos especialistas e, desta forma, obter a definição das prioridades e os respectivos pesos associados. Os questionários estão detalhados no Apêndice A. Seguindo o preconizado na metodologia AHP, nas pesquisas realizadas através de questionário aplicados de forma presencial e/ou *online* no período de março à dezembro de 2023, sendo que os indicadores foram comparados par a par com o objetivo de se atribuir pesos, que posteriormente serviram de base para a comparação dos indicadores.

Os especialistas consultados são provenientes de diferentes setores, incluindo o órgão regulador, administração hidroviária, empresas de transporte de cargas, ambientalistas, pessoas atuantes na área de transporte e meio ambiente e acadêmicos. Aqui está um resumo dos grupos de especialistas mencionados:

- ANTAQ (Agência Nacional de Transportes Aquaviários): órgão regulador do transporte aquaviário no Brasil.
- AHIMOC (Administração Hidroviária da Amazônia Ocidental): membros da administração hidroviária com foco específico na região da Amazônia Ocidental.
- Empresas de transporte de cargas em hidrovias brasileiras: profissionais de empresas que operam no setor de transporte de cargas em hidrovias brasileiras.
- Ambientalistas: indivíduos dedicados à defesa e preservação do meio ambiente, com foco nas implicações ambientais do transporte aquaviário.
- Pessoas atuantes na área de transporte e meio ambiente: profissionais que possuem atuação tanto em transporte quanto em questões ambientais, possivelmente trabalhando na interface entre essas duas áreas.
- Pesquisadores da área de transportes: professores universitários, com destacada atuação na área de transportes.

Apesar de terem sido enviados diversos questionários através de email e por link no Google Forms, o total de especialistas que responderam ao questionário foi de 30 pessoas, indicando uma abordagem holística ao considerar múltiplas perspectivas e conhecimentos. A diversidade de fontes pode proporcionar uma visão abrangente e informada sobre as questões relacionadas ao transporte aquaviário de carga com visão para a sustentabilidade no contexto

brasileiro. Após a coleta dos resultados do questionário e a definição dos pesos por indicador, para modelagem do AHP foram utilizadas planilha eletrônica com a formulação do método.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a resposta dos especialistas e o percentual de cada indicador calculado, obteve-se a média de cada indicador dos 30 especialistas que responderam ao questionário elaborado. A Tabela 15 mostra a análise das respostas dos 30 especialistas com relação aos Indicadores Globais (critérios).

Tabela 155: Resposta dos especialistas para os critérios

Especialistas	CRITÉRIOS (%)									Total	Inconsistência
	(C1) Infraestrutura	(C2) Portos	(C3) Meio Ambiente	(C4) Frota e Veículos	(C5) Carga	(C6) Tecnologia da Informação e Comunicação	(C7) Desenvolvimento Econômico	(C8) Prevenção de Acidentes	(C9) Segurança		
1	15,22%	12,62%	29,94%	3,22%	5,88%	5,01%	21,76%	3,68%	2,67%	100%	9,27%
2	9,23%	7,65%	33,50%	4,23%	3,34%	8,24%	23,89%	4,87%	5,06%	100%	9,07%
3	29,41%	10,54%	21,74%	8,26%	6,47%	4,00%	13,46%	3,41%	2,70%	100%	8,37%
4	17,21%	16,26%	36,83%	2,91%	4,44%	3,71%	5,95%	5,95%	6,72%	100%	7,95%
5	12,16%	8,93%	31,48%	7,53%	5,57%	3,62%	22,01%	4,62%	4,09%	100%	9,39%
6	19,23%	7,87%	33,80%	2,55%	2,93%	3,44%	15,64%	6,28%	8,25%	100%	7,99%
7	26,32%	20,79%	9,45%	6,19%	7,90%	5,48%	4,85%	8,36%	10,67%	100%	7,11%
8	23,10%	20,45%	8,70%	7,70%	11,11%	8,70%	4,73%	6,82%	8,70%	100%	4,75%
9	15,93%	9,95%	34,43%	3,64%	4,27%	4,27%	15,93%	4,08%	7,51%	100%	5,55%
10	16,66%	9,83%	34,02%	2,82%	4,77%	4,06%	15,74%	4,18%	7,92%	100%	7,00%
11	28,81%	14,91%	4,48%	14,91%	14,91%	5,99%	3,93%	5,66%	6,40%	100%	8,96%
12	28,22%	8,78%	24,27%	6,88%	8,23%	3,53%	13,41%	3,99%	2,69%	100%	8,31%
13	31,79%	8,93%	20,63%	6,55%	6,99%	3,80%	13,63%	4,41%	3,27%	100%	7,61%
14	19,90%	18,80%	8,00%	8,00%	10,21%	5,92%	7,08%	9,04%	13,04%	100%	8,69%
15	24,19%	11,63%	11,63%	9,11%	11,63%	8,06%	6,32%	7,14%	10,29%	100%	7,83%
16	13,27%	7,63%	28,47%	4,21%	3,33%	7,27%	26,90%	4,46%	4,46%	100%	8,29%
17	12,56%	8,23%	29,30%	7,08%	5,44%	3,21%	25,69%	4,51%	3,99%	100%	8,23%
18	17,69%	16,72%	31,98%	2,99%	4,74%	3,96%	12,27%	4,53%	5,12%	100%	5,18%
19	11,51%	14,69%	19,85%	7,06%	6,25%	5,58%	15,55%	7,98%	11,51%	100%	9,37%
20	13,51%	9,37%	27,62%	7,90%	5,48%	3,18%	22,01%	5,80%	5,13%	100%	7,92%
21	10,92%	10,32%	31,63%	4,00%	4,69%	4,15%	21,10%	5,40%	7,79%	100%	6,98%
22	21,44%	9,28%	25,64%	7,27%	7,69%	3,30%	16,94%	4,22%	4,22%	100%	6,91%
23	15,29%	14,45%	18,44%	5,81%	6,15%	5,81%	16,18%	6,56%	11,32%	100%	8,09%
24	17,19%	10,14%	31,37%	3,02%	4,91%	4,35%	16,24%	4,31%	8,48%	100%	7,64%
25	8,31%	8,80%	29,06%	4,30%	3,40%	8,38%	27,46%	5,14%	5,14%	100%	6,40%
26	11,50%	12,28%	22,42%	4,66%	5,90%	4,98%	19,84%	7,54%	10,87%	100%	7,82%
27	17,24%	8,92%	30,60%	6,99%	6,99%	3,17%	18,24%	4,58%	3,26%	100%	7,60%
28	19,72%	16,63%	30,64%	3,09%	4,72%	3,94%	12,20%	4,26%	4,81%	100%	5,75%
29	17,92%	13,38%	21,62%	4,50%	5,69%	6,13%	19,13%	4,76%	6,87%	100%	7,98%
30	16,94%	14,05%	22,89%	4,72%	5,00%	5,38%	18,98%	5,65%	6,38%	100%	7,85%

Fonte: o Autor (2024).

Na planilha eletrônica foram lançados os pesos conforme respostas dos especialistas para cada indicador. Nas Tabela 16 e 17 encontram-se as respostas dos especialistas em relação aos Indicadores Específicos (alternativas).

Tabela 166: Resposta dos especialistas para as alternativas 1 a 14

#	ALTERNATIVAS (%)													
	C1				C2		C3				C4		C5	
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14
1	5,66	68,56	12,89	12,89	83,33	16,67	8,84	39,65	39,65	11,86	16,67	83,33	83,33	16,67
2	4,61	66,21	10,98	18,20	87,50	12,50	9,96	29,31	50,77	9,96	12,50	87,50	16,67	83,33
3	4,44	69,39	13,92	12,25	75,00	25,00	12,15	27,71	47,99	12,15	50,00	50,00	25,00	75,00
4	9,30	48,31	21,19	21,19	75,00	25,00	12,50	37,50	37,50	12,50	50,00	50,00	25,00	75,00
5	9,01	64,49	15,60	10,90	50,00	50,00	11,57	51,89	26,37	10,18	12,50	87,50	87,50	12,50
6	16,46	49,38	21,66	12,51	75,00	25,00	8,75	29,26	50,69	11,30	50,00	50,00	75,00	25,00
7	8,19	36,75	36,75	18,32	16,67	83,33	13,40	39,43	39,43	7,74	25,00	75,00	75,00	25,00
8	8,09	63,03	20,07	8,81	75,00	25,00	12,28	27,45	54,03	6,24	25,00	75,00	75,00	25,00
9	16,46	49,38	21,66	12,51	50,00	50,00	5,50	41,10	41,10	12,29	25,00	75,00	83,33	16,67
10	9,01	64,49	15,60	10,90	50,00	50,00	8,33	41,67	41,67	8,33	12,50	87,50	50,00	50,00
11	6,76	63,67	15,41	14,16	75,00	25,00	7,46	38,00	43,18	11,37	50,00	50,00	75,00	25,00
12	8,04	47,47	23,66	20,83	16,67	83,33	12,15	27,71	47,99	12,15	75,00	25,00	25,00	75,00
13	9,41	61,91	16,30	12,38	50,00	50,00	8,84	39,65	39,65	11,86	50,00	50,00	50,00	50,00
14	4,65	61,52	16,91	16,91	75,00	25,00	6,29	41,40	41,40	10,90	25,00	75,00	50,00	50,00
15	9,41	61,91	16,30	12,38	16,67	83,33	9,85	43,34	38,14	8,67	12,50	87,50	25,00	75,00
16	10,75	47,28	27,83	14,14	25,00	75,00	4,98	47,85	37,98	9,19	25,00	75,00	16,67	83,33
17	9,78	38,60	22,29	29,33	50,00	50,00	5,02	51,38	33,71	9,89	83,33	16,67	16,67	83,33
18	21,19	48,31	9,30	21,19	16,67	83,33	7,32	57,00	26,63	9,05	50,00	50,00	50,00	50,00
19	7,41	68,28	16,90	7,41	25,00	75,00	5,00	42,37	42,37	10,25	75,00	25,00	25,00	75,00
20	8,29	54,56	9,42	27,72	16,67	83,33	16,69	28,91	43,23	11,16	25,00	75,00	75,00	25,00
21	17,33	39,50	30,01	13,17	16,67	83,33	5,39	55,18	29,29	10,15	25,00	75,00	16,67	83,33
22	4,93	41,77	29,18	24,12	25,00	75,00	8,79	56,54	30,01	4,66	75,00	25,00	25,00	75,00
23	6,71	51,13	22,43	19,74	25,00	75,00	4,73	43,54	43,54	8,19	75,00	25,00	25,00	75,00
24	4,55	50,67	29,26	15,53	50,00	50,00	10,19	34,75	44,86	10,19	50,00	50,00	50,00	50,00
25	7,41	56,49	19,20	16,90	25,00	75,00	9,42	27,72	54,56	8,29	75,00	25,00	75,00	25,00
26	5,04	63,82	21,23	9,92	87,50	12,50	5,45	46,13	38,99	9,43	25,00	75,00	25,00	75,00
27	15,04	51,27	26,05	7,64	50,00	50,00	6,44	48,02	35,72	9,82	50,00	50,00	50,00	50,00
28	12,38	61,91	16,30	9,41	75,00	25,00	9,41	37,15	37,15	16,30	75,00	25,00	25,00	75,00
29	12,51	49,38	21,66	16,46	25,00	75,00	11,64	39,67	39,67	9,02	75,00	25,00	75,00	25,00
30	7,64	51,27	26,05	15,04	75,00	25,00	6,55	28,84	49,95	14,65	16,67	83,33	50,00	50,00

Fonte: o Autor (2024).

Tabela 177: Resposta dos especialistas para as alternativas 15 a 26

ALTERNATIVAS (%)												
#	C6				C7				C8			C9
	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26
1	10,62	41,12	36,19	12,06	6,24	54,03	27,45	12,28	10,47	25,83	63,70	100
2	6,41	55,54	21,44	16,61	13,31	44,52	34,48	7,69	14,29	14,29	71,43	100
3	9,30	21,19	21,19	48,31	5,63	29,30	53,02	12,05	15,62	18,52	65,86	100
4	12,51	16,46	21,66	49,38	17,33	30,01	39,50	13,17	33,33	33,33	33,33	100
5	25,08	6,76	14,48	53,68	11,30	50,69	29,26	8,75	14,29	14,29	71,43	100
6	25,00	25,00	25,00	25,00	10,46	53,31	20,58	15,64	15,62	18,52	65,86	100
7	11,94	53,56	13,83	20,68	13,17	39,50	30,01	17,33	14,29	14,29	71,43	100
8	9,30	48,31	21,19	21,19	20,83	47,47	8,04	23,66	20,00	20,00	60,00	100
9	23,76	31,26	31,26	13,72	17,36	58,06	11,39	13,19	63,70	25,83	10,47	100
10	37,15	9,41	16,30	37,15	9,93	57,48	19,53	13,06	33,33	33,33	33,33	100
11	13,17	39,50	30,01	17,33	11,94	53,56	20,68	13,83	20,00	20,00	60,00	100
12	40,74	17,87	23,52	17,87	17,87	23,52	40,74	17,87	18,52	15,62	65,86	100
13	12,50	37,50	37,50	12,50	9,30	48,31	21,19	21,19	15,62	18,52	65,86	100
14	12,06	41,12	36,19	10,62	11,57	51,89	26,37	10,18	15,62	18,52	65,86	100
15	13,72	31,26	31,26	23,76	8,51	58,28	23,96	9,25	42,86	14,29	42,86	100
16	18,64	24,53	32,29	24,53	24,53	32,29	18,64	24,53	15,62	18,52	65,86	100
17	13,17	39,50	30,01	17,33	10,18	51,89	11,57	26,37	63,70	25,83	10,47	100
18	7,76	52,05	20,10	20,10	7,41	56,49	19,20	16,90	8,10	18,84	73,06	100
19	17,33	30,01	39,50	13,17	15,64	53,31	20,58	10,46	14,29	14,29	71,43	100
20	21,66	49,38	16,46	12,51	10,46	53,31	20,58	15,64	33,33	33,33	33,33	100
21	17,87	17,87	40,74	23,52	23,76	31,26	13,72	31,26	60,00	20,00	20,00	100
22	12,15	47,99	27,71	12,15	10,18	51,89	26,37	11,57	14,29	14,29	71,43	100
23	23,52	17,87	17,87	40,74	12,15	47,99	27,71	12,15	18,52	15,62	65,86	100
24	18,64	32,29	24,53	24,53	23,76	31,26	31,26	13,72	15,62	18,52	65,86	100
25	23,76	31,26	31,26	13,72	12,15	47,99	27,71	12,15	11,40	48,06	40,54	100
26	9,78	22,29	38,60	29,33	10,62	41,12	36,19	12,06	18,52	15,62	65,86	100
27	48,31	21,19	21,19	9,30	17,33	30,01	39,50	13,17	60,00	20,00	20,00	100
28	29,33	9,78	22,29	38,60	47,99	27,71	12,15	12,15	14,29	14,29	71,43	100
29	13,17	39,50	30,01	17,33	20,58	53,31	10,46	15,64	20,00	20,00	60,00	100
30	15,04	51,27	26,05	7,64	9,63	55,79	9,63	24,95	20,00	20,00	60,00	100

Fonte: o Autor (2024).

O indicador Roubo obteve 100% de indicação, pois era única alternativa dentro do Critério Segurança. Com o lançamento dos dados, o cálculo compreendeu as seguintes etapas:

- Definição da Matriz de Decisão: lançamento dos pesos conforme as respostas dos especialistas para cada indicador e fator. Esses pesos representam a importância relativa de cada critério na tomada de decisão.
- Cálculo da Matriz Normalizada: o somatório dos elementos de cada coluna é calculado e, em seguida, cada elemento da coluna é dividido pelo respectivo somatório. Isso é feito para normalizar os valores e garantir que cada coluna tenha um peso relativo proporcional à sua importância.

- Cálculo do Autovetor (A-vetor): a média geométrica dos pesos atribuídos na matriz normalizada é calculada. Esse resultado representa o autovetor associado à matriz normalizada.
- Cálculo de A-Norm: o A-Norm é obtido dividindo o autovetor específico do indicador pelo somatório dos autovetores de todos os indicadores. Isso resulta no peso médio de cada indicador.

O peso médio de cada indicador (A-Norm) fornece uma medida da importância de cada indicador em relação aos outros. Indicadores com pesos mais altos são considerados mais relevantes na tomada de decisão. Esse processo apoia a tomada de decisões complexas, especialmente quando há múltiplos critérios a serem considerados. Essa abordagem ajuda a quantificar as preferências dos especialistas e a chegar a uma decisão mais fundamentada.

Dos 30 especialistas consultados, após o retorno das respostas, e a aplicação do Método AHP, foi evidenciado apenas 2 opiniões *outliers* (pontos que estão distantes da média ou padrão esperado), onde não satisfaziam a Razão de Consistência menor que 0,10. Logo, os especialistas foram novamente consultados, com uma explicação mais concisa e clara acerca dos Critérios e Alternativas, e responderam novamente às perguntas, ao qual foram avaliadas e após lançamento no método AHP foram validadas como satisfatórias.

A Razão de Consistência final dos critérios, sendo a média das RC de todas as respostas, teve seu valor igual a 0,0766 ou 7,66%, estando dentro do nível aceitado que é de no máximo 10%, de acordo com Saaty (1991). Com essa informação, foi utilizada a planilha eletrônica para definição da importância relativa dos vários indicadores, com intervalos de variações. Enfim, foi realizada a montagem da consistência lógica, que consiste no cálculo dos pesos dentro da hierarquia. Sendo a consistência satisfatória a hierarquização dos indicadores foi realizada através de planilha eletrônica no Excel.

Os pesos finais dos indicadores, fundamentais para a hierarquização definitiva foram obtidos pela média geométrica de todos os pesos das respostas dos entrevistados. Para o cálculo, foram utilizadas equações básicas de estatística, sendo a Média, Desvio-Padrão, Erro-Padrão, Erro Admissível e Valores Mínimos e Máximos.

Ao aplicar essas medidas estatísticas, proporciona-se uma análise mais abrangente dos dados coletados, ajudando a compreender não apenas a tendência central (média) e a dispersão (desvio-padrão), mas também a confiabilidade da média (erro-padrão) e a variação admissível. Essas informações são valiosas para interpretar a consistência e a confiabilidade dos resultados

obtidos por meio do AHP, proporcionando uma base sólida para a tomada de decisões informadas com base nos indicadores hierarquizados.

Na Tabela 18 são demonstrados os resultados obtidos através das fórmulas aplicadas na planilha eletrônica para os Indicadores Globais (critérios) e os Indicadores Específicos (alternativas).

Tabela 188: Cálculo da média, desvio-padrão, erros e variações

Critérios	Média	Desvio-Padrão	Erro-padrão	Erro admissível	Valor Mínimo	Valor Máximo
C1	18,08%	6,24%	1,14%	1,14%	16,94%	19,22%
C2	12,09%	3,87%	0,71%	0,71%	11,39%	12,80%
C3	24,81%	8,90%	1,62%	1,62%	23,19%	26,43%
C4	5,74%	2,63%	0,48%	0,48%	5,26%	6,22%
C5	6,30%	2,70%	0,49%	0,49%	5,81%	6,79%
C6	5,02%	1,69%	0,31%	0,31%	4,71%	5,33%
C7	15,90%	6,68%	1,22%	1,22%	14,68%	17,12%
C8	5,41%	1,47%	0,27%	0,27%	5,14%	5,67%
C9	6,64%	2,96%	0,54%	0,54%	6,10%	7,18%

Critérios	Alternativas	Média	Desvio-Padrão	Erro-padrão	Erro admissível	Valor Mínimo	Valor Máximo
C1	A1	9,35%	4,28%	0,78%	0,78%	8,57%	10,13%
	A2	55,02%	9,57%	1,75%	1,75%	53,28%	56,77%
	A3	20,20%	6,53%	1,19%	1,19%	19,01%	21,39%
	A4	15,43%	5,55%	1,01%	1,01%	14,42%	16,44%
C2	A5	48,61%	25,79%	4,71%	4,71%	43,90%	53,32%
	A6	51,39%	25,79%	4,71%	4,71%	46,68%	56,10%
C3	A7	8,83%	3,04%	0,55%	0,55%	8,28%	9,38%
	A8	40,00%	9,09%	1,66%	1,66%	38,35%	41,66%
	A9	40,91%	7,36%	1,34%	1,34%	39,56%	42,25%
	A10	10,26%	2,31%	0,42%	0,42%	9,84%	10,68%
C4	A11	43,06%	24,13%	4,41%	4,41%	38,65%	47,46%
	A12	56,94%	24,13%	4,41%	4,41%	52,54%	61,35%
C5	A13	47,36%	24,82%	4,53%	4,53%	42,83%	51,89%
	A14	52,64%	24,82%	4,53%	4,53%	48,11%	57,17%
C6	A15	18,45%	10,02%	1,83%	1,83%	16,62%	20,27%
	A16	32,09%	14,26%	2,60%	2,60%	29,48%	34,69%
	A17	26,66%	7,79%	1,42%	1,42%	25,23%	28,08%
	A18	22,81%	12,55%	2,29%	2,29%	20,52%	25,10%
C7	A19	14,70%	8,17%	1,49%	1,49%	13,21%	16,19%
	A20	45,52%	10,87%	1,98%	1,98%	43,53%	47,50%
	A21	24,38%	10,75%	1,96%	1,96%	22,42%	26,35%
	A22	15,40%	5,75%	1,05%	1,05%	14,35%	16,44%
C8	A23	24,51%	16,70%	3,05%	3,05%	21,46%	27,56%
	A24	20,74%	7,67%	1,40%	1,40%	19,34%	22,15%
	A25	54,75%	19,79%	3,61%	3,61%	51,13%	58,36%
C9	A26	100%	0%	0%	0%	100%	100%

Fonte: o Autor (2024).

Com os resultados dos valores médios, máximos e mínimos, multiplicou-se os valores encontrados pelo seu Indicador Global (critério) respectivo para enfim ser apresentado os pesos com a hierarquização dos indicadores. No Critério Infraestrutura, o valor da Alternativa “Utilização das eclusas” foi multiplicado pelo valor médio do Critério correspondente, sendo

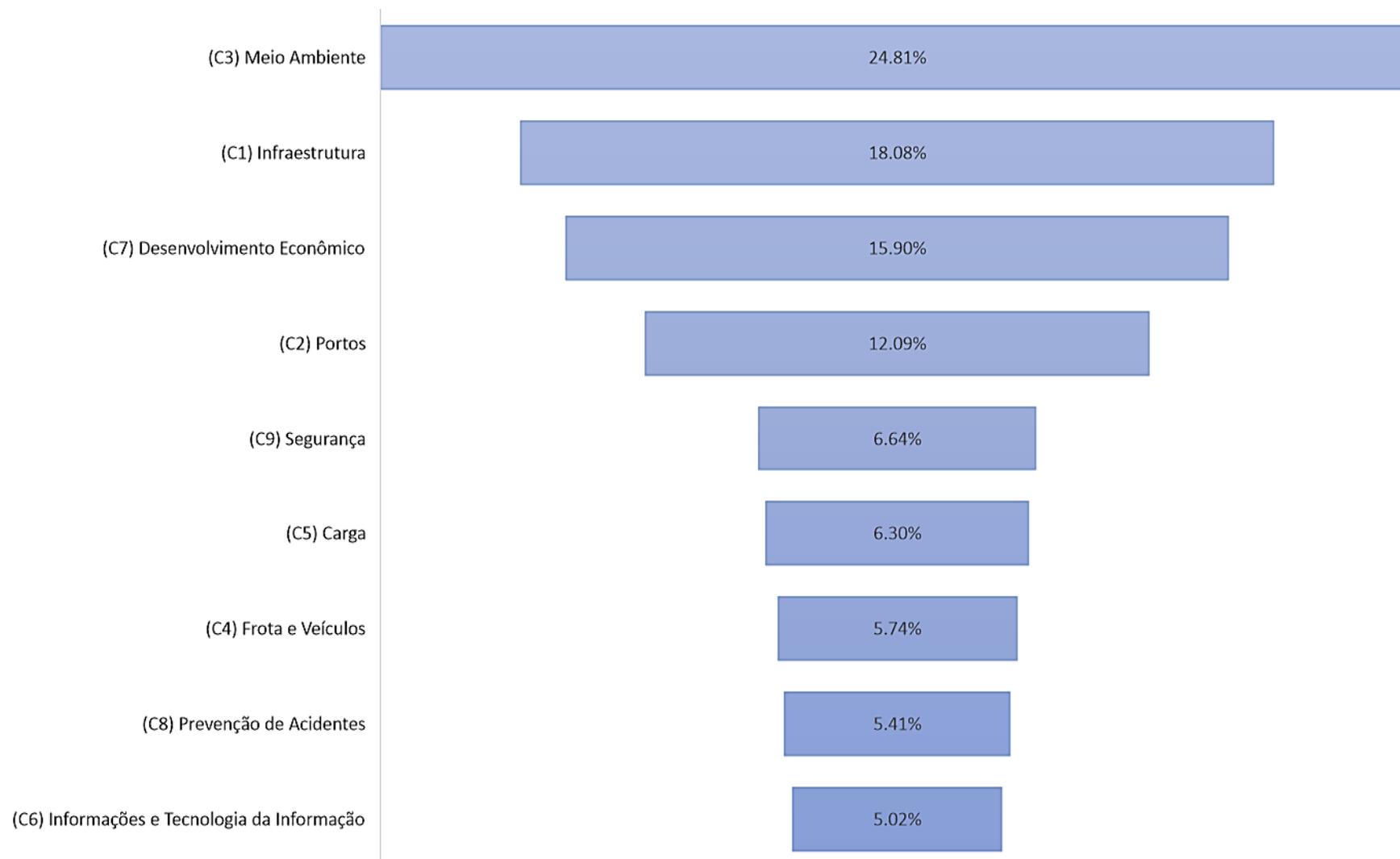
18,08% x 9,35%, obtendo o valor final médio de 1,69%. E desta forma foi feito o cálculo para todos os indicadores, obtendo a hierarquização final, conforme demonstrado na Tabela 19.

Tabela 199: Pesos dos indicadores

Indicadores	Média
Infraestrutura	18,08%
Utilização das eclusas	1,69%
Disponibilidade para navegação da hidrovia	9,95%
Capacidade da hidrovia	3,65%
Dragagem/manutenção de navegação	2,79%
Portos	12,09%
Utilização da capacidade de armazenamento	5,88%
Tempo de espera para o serviço	6,21%
Meio Ambiente	24,81%
Consumo de combustível	2,19%
Emissão de poluentes no ar	9,93%
Qualidade da água	10,15%
Construção e Manutenção	2,55%
Frota e Veículos	5,74%
Manutenção, assistência técnica, suprimentos operacionais	2,47%
Capacidade de transporte da frota	3,27%
Carga	6,30%
Transporte de carga	2,98%
Qualidade percebida/Satisfação do usuário com a carga	3,32%
Tecnologia da Informação e Comunicação	5,03%
Frequência de atualização de gráficos eletrônicos do canal navegável	0,93%
Precisão de cartas náuticas eletrônicas	1,61%
Disponibilidade de informações eletrônicas da via navegável	1,34%
Disponibilidade sistemas de informação portuário	1,15%
Desenvolvimento Econômico	15,90%
Emprego	2,34%
Navegação interior/ volume em relação ao PIB	7,24%
Impacto econômico de transporte de carga	3,88%
Desenvolvimento regional e local	2,45%
Prevenção de Acidentes	5,40%
Lesões, mortes, danos materiais	1,32%
Acidentes	1,12%
Impacto econômico de acidentes	2,96%
Segurança	6,64%
Roubos	6,64%

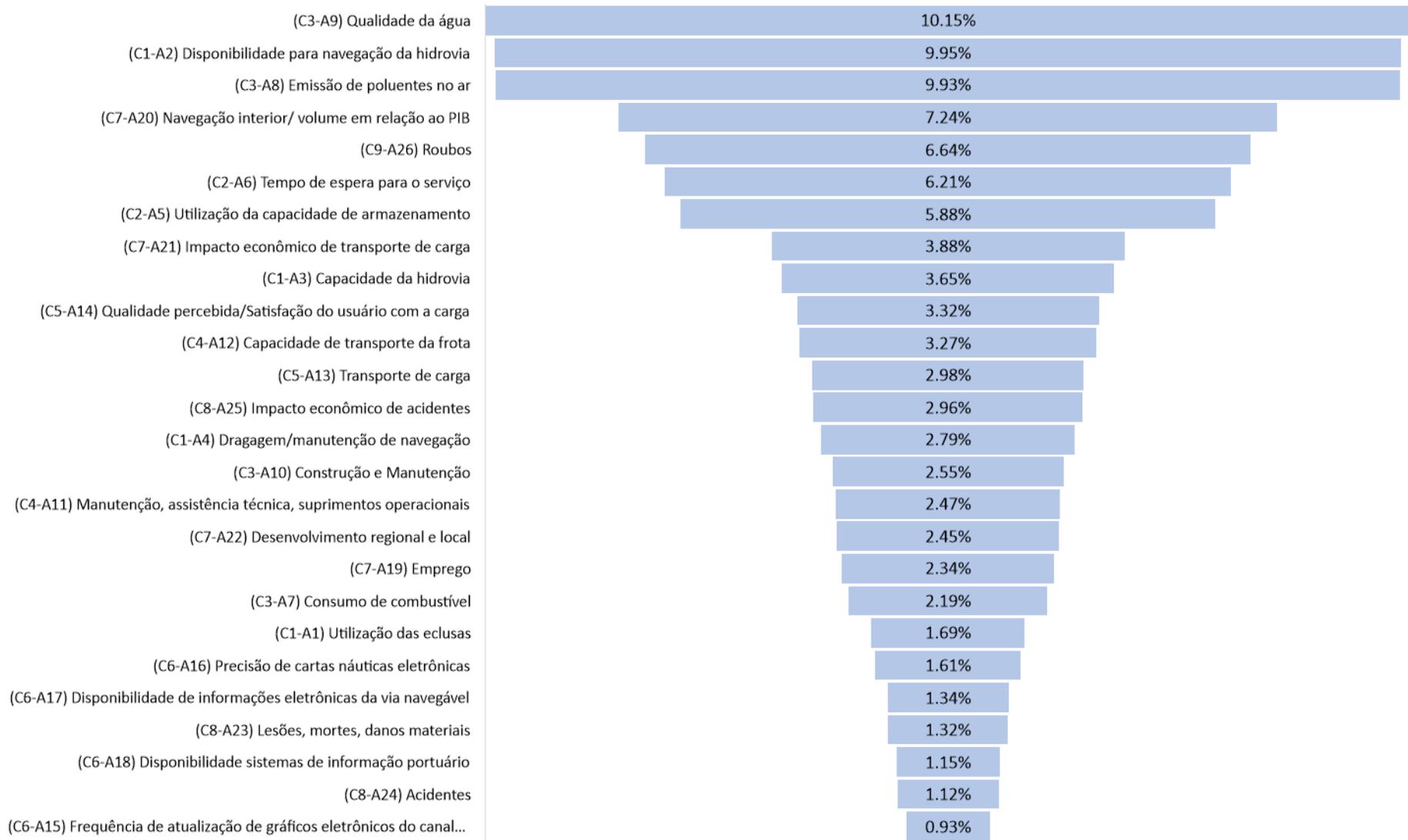
Fonte: o Autor (2024).

Na Figura 29 e 30 são demonstrados os indicadores hierarquizados por meio do cálculo realizado na planilha eletrônica e pela estatística básica.

Figura 299: Hierarquização dos Indicadores Globais (critérios)

Fonte: o Autor (2024).

Figura 30: Hierarquização dos Indicadores Globais (critérios)



Fonte: o Autor (2024).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação hierárquica dos resultados permitiu a análise dos indicadores de desempenho, destacando os mais relevantes e seu impacto. Após revisão das respostas e julgamentos dos especialistas, inicialmente verificou-se se a inconsistência excedia 0,1, conforme o método AHP proposto por Saaty (1991). Verificou-se, então, que a inconsistência das respostas dos especialistas permaneceu dentro dos padrões estabelecidos, conforme demonstrado na Tabela 13. Foi identificado um valor de 7,66% para a Razão de Consistência, evidenciando a coesão e o entendimento dos especialistas que participaram do questionário.

Evidenciou-se ainda que, a inconsistência foi menor com as respostas que foram obtidas de forma presencial (Ex: Especialistas 8 e 18, com Inconsistência de 4,75 e 5,18 % respectivamente), se comparados com as respostas das pesquisas realizadas através do Google Forms.

Esses resultados sugerem que os participantes compreenderam de maneira clara e precisa as comparações entre os indicadores propostos, tanto nos critérios, quanto nas alternativas.

As maiores discrepâncias em comparação com a média das respostas dos especialistas foram observadas nas respostas fornecidas pelas empresas envolvidas em operações hidroviárias e pelos profissionais atuantes na área ambiental. Essas variações indicam que embora haja certa uniformidade nas respostas, existe um viés associado aos interesses e às áreas de atuação dos entrevistados.

Dentre os 30 especialistas que participaram da pesquisa, notou-se uma clara inclinação em direção às questões ambientais, evidenciada pelo fato de que o Indicador Global/Critério de Meio Ambiente foi o mais ponderado nas respostas. Esta ênfase ressalta a crescente preocupação com a sustentabilidade, conforme preconizado na Agenda 2030. Esse resultado corrobora com os resultados encontrados por Shiau e Liu (2013), que apontou o Meio Ambiente como indicador mais importante para a sustentabilidade. Contudo, Rao (2021) teve como classificação final dos pesos a Dimensão Econômica como mais importante, seguida pela Dimensão Ambiental.

Por outro lado, o indicador de Infraestrutura com 18,08% do peso total, classificado como segundo mais importante, continua sendo fator significativo no setor de navegação. Onde há uma preocupação expressiva com a garantia da navegabilidade das hidrovias, dado o seu papel fundamental no transporte de cargas. Esta preocupação reflete a importância estratégica da infraestrutura para a eficiência logística e a competitividade do país e vai ao encontro do

resultado obtido por Barbosa *et al.* (2015), que obteve a Disponibilidade para navegação da hidrovia (indicador do critério de Infraestrutura), como o indicador mais importante na análise dos especialistas.

O Desenvolvimento Econômico, também destacado na Agenda 2030, emergiu com 15,90% de peso, sendo o 3º tópico relevante na pesquisa. O volume de carga transportado pelo setor de navegação é um indicativo do seu impacto econômico significativo na economia brasileira. Pelos rios brasileiros passaram mais de 51,2 milhões de toneladas de mercadorias nas quatro regiões hidrográficas que compõem o conjunto logístico de vias interiores do país nos 5 primeiros meses de 2022. Destes a região Amazônica foi responsável pelo escoamento de 32,1 milhões de toneladas, o que equivale a uma alta de cerca de 10% ao mesmo período do ano anterior. A região responde por quase dois terços de todo o transporte fluvial brasileiro (ANTAQ, 2023b).

Esse contexto justifica a alta priorização do desenvolvimento econômico na hierarquia de preocupações dos especialistas consultados, ressaltando sua importância na matriz de decisões do setor. O indicador Portos emergiu como um dos pontos importantes na hierarquização, refletindo a preocupação central dos profissionais consultados com o tempo médio entre a chegada de uma embarcação no porto e o início das atividades de transbordo, bem como a capacidade de armazenamento eficiente de um determinado porto. Esta última dimensão ganha relevância adicional quando consideramos o aumento do comércio global e a necessidade de portos adaptáveis e eficientes para lidar com volumes crescentes de carga.

Além disso, os indicadores globais Segurança, Carga, Frota e Veículos, Prevenção de Acidentes e Tecnologia de Informação e Comunicação demonstraram uma relativa homogeneidade em sua importância percebida. Isso sugere que esses aspectos são igualmente importantes para a eficiência e segurança das operações hidroviárias. No entanto, é interessante observar que o indicador Tecnologia de Informação e Comunicação foi classificado como o menos relevante pelos especialistas. Talvez isso possa ser atribuído à supremacia percebida de outros fatores.

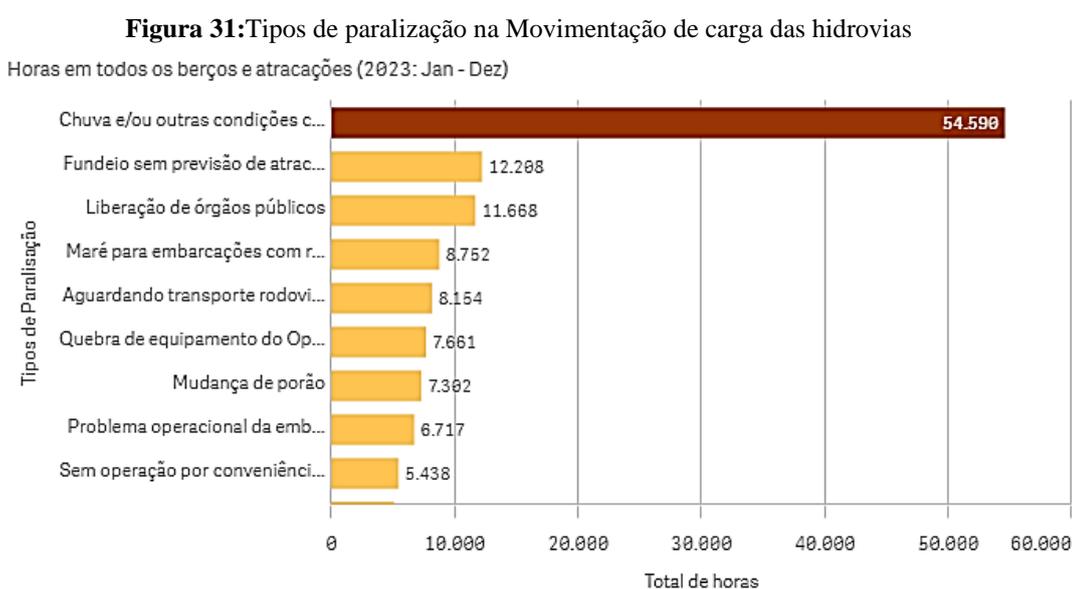
No entanto, é importante destacar que embora possa ser considerado menos relevante em comparação com outros indicadores, a atualização frequente das cartas fornecidas para as hidrovias desempenha um papel vital na garantia da navegabilidade efetiva, especialmente em meio a mudanças nas condições do ambiente aquático e nas rotas de navegação. Assim, sua posição aparentemente inferior não deve subestimar sua importância dentro do panorama geral da eficiência e da segurança de navegação.

Considerando os indicadores específicos, a Qualidade da Água foi identificada como o mais relevante dentre os 26 indicadores analisados, destacando a preocupação primordial com questões ambientais, especialmente em relação à qualidade da água dos rios, sendo que a navegação interior é essencial para a sustentabilidade por várias razões, dentre elas: Ecossistemas Aquáticos, Abastecimento de água, Transporte e Comércio, Recreação e Turismo e a Biodiversidade.

Este indicador compara a quantidade de transporte de carga da navegação interior com a poluição de trechos de hidrovias por ano, utilizando como dados os poluentes lançados pelas embarcações (Água porão/m³ e o volume total de carga em ton/mês de um trecho hidroviário).

Portanto, garantir a qualidade da água na navegação interior é essencial para promover a sustentabilidade ambiental, econômica e social das comunidades ribeirinhas e costeiras, bem como dos ecossistemas aquáticos em geral. Isso requer medidas de conservação e gestão adequadas para prevenir a poluição e proteger os recursos hídricos. O indicador “Disponibilidade para navegação da hidrovia” e “Emissão de poluentes no ar” destacaram-se com o segundo e terceiro mais importantes entre as outras opções. Esta distinção é fundamentada na preocupação primordial de garantir a acessibilidade contínua do canal de navegação e do meio ambiente.

Com isso, a interrupção da navegação devido a fatores como chuvas intensas, estiagem prolongada ou acidentes (Figura 31), pode resultar em atrasos significativos na entrega de mercadorias, afetando toda a cadeia de suprimentos. Isso pode levar a perdas financeiras para as empresas e impactar negativamente a economia.



Fonte: ANTAQ (2023c).

Evidencia-se a importância da Disponibilidade para Navegação da hidrovia com dados do Estatístico Aquaviário da ANTAQ (2023d), onde constatou-se que por quase 55 mil horas as embarcações ficaram paradas decorrente de chuvas e/ou decorrente de outras condições climáticas (Figura 31). O que se torna uma preocupação constante, principalmente das empresas que trabalham com o transporte de carga.

A emissão de poluentes no ar é um aspecto a ser considerado na navegação hidroviária, especialmente quando se busca sustentabilidade e alinhamento com a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável da ONU. Sendo que as principais razões são o Impacto ambiental, a Saúde humana, a contribuição para as mudanças climáticas, onde as emissões de gases de efeito estufa provenientes da navegação, como dióxido de carbono (CO₂), que contribui para o aquecimento global e as mudanças climáticas.

Portanto, para alcançar os objetivos de sustentabilidade e atender às metas da Agenda 2030 é crucial que a navegação hidroviária adote medidas para reduzir suas emissões de poluentes atmosféricos e contribuir para um ambiente mais limpo e saudável. Isso pode ser feito por meio da adoção de tecnologias mais limpas, melhoria da eficiência energética, uso de combustíveis alternativos e implementação de práticas operacionais sustentáveis.

O volume de carga transportada em hidrovias desempenha um papel crucial no contexto econômico do Brasil, especialmente em relação ao Produto Interno Bruto (PIB), o que justifica a importância do indicador “Navegação interior/volume em relação ao PIB”. As hidrovias oferecem uma infraestrutura eficiente e de baixo custo para o transporte de mercadorias, permitindo o escoamento de produtos agrícolas, minerais e industriais de forma rápida e econômica.

Dentro do contexto do vasto sistema hidroviário brasileiro, que abrange rios como o Amazonas, o transporte fluvial desempenha um papel importante na integração nacional e na conexão de regiões distantes. Essas hidrovias não apenas impulsionam o crescimento econômico, facilitando o comércio interno e externo, mas também contribuem para a competitividade do Brasil no cenário global ao promover uma logística eficiente e sustentável.

Outro indicador importante na opinião dos especialistas, o “Roubo”, avalia que as cargas no transporte hidroviário interior representam uma preocupação significativa para as operações logísticas e para a segurança dos bens transportados. Embora menos frequente em comparação com outros modos de transporte, como rodoviário e ferroviário, o transporte hidroviário interior não está isento de riscos. As vastas extensões dos rios e a relativa falta de vigilância em algumas áreas remotas tornam as embarcações vulneráveis a ataques criminosos. Além disso, a falta de regulamentação e fiscalização eficazes em certas regiões pode facilitar a ação de grupos

criminosos organizados. Os roubos de cargas não apenas representam perdas financeiras significativas para as empresas e para a economia como um todo, mas também têm um impacto negativo na confiança dos investidores e na credibilidade do setor de transporte hidroviário interior.

Os especialistas avaliaram os indicadores medianos de maneira equitativa, atribuindo-lhes peso aproximados e observando uma consistência notável entre suas avaliações. Os dois indicadores que na opinião dos entrevistados tiveram menor importância, foram “Acidentes” e “Frequência de atualização de gráficos eletrônicos do canal navegável”. Pelo fato de as embarcações serem projetadas e construídas para serem robustas e capazes de lidar com as condições adversas do ambiente, poucos são os acidentes registrados na navegação fluvial e as regulamentações aquaviárias são rigorosas e exigem que as embarcações atendam a padrões de segurança específicos. Além disso, de 2013 à 2022 o número de acidentes no transporte aquaviário foi na média de 904,6 unidades, se comparado ao transporte rodoviário, que no mesmo período representou uma média de 99,2 mil acidentes (ANTAQ, 2023c).

A frequência de atualização de gráficos eletrônicos dos rios pode não ser considerada muito importante por algumas razões. Primeiramente, uma frequência de atualização menos frequente pode ser suficiente, pois as condições do rio podem não mudar rapidamente. Além disso, se os recursos disponíveis para atualização forem limitados, pode ser mais prático priorizar outros aspectos da segurança na navegação, como sinalização clara ou informações sobre perigos conhecidos.

Dessa forma, a utilização do AHP em conjunto com uma planilha eletrônica e análise estatística constitui uma abordagem altamente abrangente e estruturada para avaliar a importância dos indicadores em um contexto dado. Essa metodologia não só oferece uma hierarquização relativa dos parâmetros, mas também proporciona *insights* valiosos sobre a distribuição e a variabilidade dos dados por meio de análises estatísticas mais aprofundadas. Essa combinação de técnicas não apenas facilita a tomada de decisões informadas, mas também aprimora a compreensão holística do problema em análise, permitindo uma abordagem mais precisa e eficaz na gestão e otimização de recursos.

A incorporação de estatísticas básicas dos parâmetros analisados não apenas adiciona uma camada de análise quantitativa ao processo, mas também aprofunda a compreensão das características intrínsecas dos dados coletados. Além das medidas mencionadas, como média, desvio-padrão, mínimo e máximo, outras estatísticas descritivas, como quartis e coeficiente de variação, podem ser empregadas conforme a natureza e os objetivos específicos da análise. Essas medidas estatísticas fornecem uma visão mais completa da distribuição dos dados,

identificando padrões, tendências e possíveis *outliers*, enriquecendo assim a interpretação dos resultados.

Já o desenvolvimento sustentável no setor de transporte aquaviário não é apenas uma necessidade ambiental, mas também uma oportunidade para inovação e liderança. À medida que as empresas adotam práticas sustentáveis, elas não apenas contribuem para a preservação do meio ambiente, mas também atendem às demandas de consumidores e investidores conscientes.

Em última análise, a busca por um transporte aquaviário sustentável é uma jornada coletiva que exige a colaboração de governos, empresas, pesquisadores e a sociedade em geral. Somente através de esforços coordenados e compromissos tangíveis podemos garantir que os rios continuem a ser fontes de vida e prosperidade para as gerações futuras. O desenvolvimento sustentável no setor de transporte aquaviário é mais do que uma escolha. É uma responsabilidade que todos compartilhamos para garantir que nossos rios permaneçam limpos e vibrantes.

Embora a participação do modo hidroviário interior seja menor em comparação com outros modos de transporte perante a matriz de transporte brasileira, os rios navegáveis do Brasil oferecem uma rede extensa e importante para o transporte de cargas em determinadas regiões, como a exemplo da Região Amazônica.

Ao analisar os indicadores hierarquizados, fica evidente uma preocupação significativa com questões ambientais. Isso foi destacado pelos indicadores relacionados ao Meio Ambiente, onde os quatro indicadores (Consumo de combustível, Emissão de poluentes no ar, Qualidade da água e Construção e Manutenção) representaram quase um quarto das preferências dos especialistas. Portanto, investir na integração e na modernização do sistema hidroviário brasileiro impulsiona o crescimento econômico, mas também contribui para a preservação do meio ambiente e para a promoção da sustentabilidade. Com isso, a hierarquização de indicadores de desempenho pode desempenhar um papel significativo no incentivo e melhoria do desenvolvimento sustentável do transporte de carga nas hidrovias brasileiras interiores. Aqui estão algumas maneiras pelas quais isso pode ser alcançado através dos indicadores hierarquizados encontrados:

1. Eficiência Operacional:

- I. Indicadores de Infraestrutura: Investimentos em portos adequados e canais de navegação são essenciais para garantir a eficiência operacional do transporte hidroviário, reduzindo tempos de espera e aumentando a capacidade de carga.

- II. Indicadores de Carga: A eficiência na movimentação de cargas, como a utilização de contêineres padronizados para facilitar o transporte e a manipulação de mercadorias, contribui para a sustentabilidade ao reduzir o tempo e o consumo de recursos durante o transporte.
 - III. Indicadores de Portos: A modernização e a manutenção adequada dos portos são importantes para otimizar as operações de carga e descarga, reduzindo os impactos ambientais e os custos operacionais.
 - IV. Indicadores de Frota e Veículos: Investimentos em embarcações mais eficientes em termos de consumo de combustível e de emissões, bem como a adoção de tecnologias limpas, contribuem para a sustentabilidade ambiental e para a eficiência operacional do transporte hidroviário.
2. Sustentabilidade Ambiental:
- I. Indicadores de Meio Ambiente: A mitigação dos impactos ambientais, como a redução da poluição da água e do ar, a preservação da biodiversidade e a minimização da degradação dos ecossistemas aquáticos, é fundamental para promover a sustentabilidade ambiental no transporte hidroviário de carga nas vias interiores.
3. Econômico-Financeiro:
- I. Indicadores de Desenvolvimento Econômico: O transporte hidroviário eficiente e sustentável pode impulsionar o desenvolvimento econômico, facilitando o escoamento da produção, reduzindo custos logísticos e promovendo o comércio regional e internacional.
 - II. Indicadores de Infraestrutura: Investimentos em infraestrutura portuária e de transporte são essenciais para garantir a viabilidade econômica do transporte hidroviário de carga, permitindo a integração eficiente das cadeias de suprimentos e o acesso a mercados.
4. Segurança e Tecnologia da Informação e Comunicação:
- I. Indicadores de Prevenção de Acidentes: A implementação de medidas de segurança, como o treinamento adequado dos tripulantes, a manutenção regular das embarcações e a supervisão rigorosa das operações, é essencial para prevenir acidentes e garantir a segurança das operações de transporte hidroviário.
 - II. Tecnologia da Informação e Comunicação: O uso de tecnologia da informação para monitorar as condições de navegação, prever eventos climáticos adversos e compartilhar informações em tempo real contribui para a segurança e a confiabilidade das operações de transporte hidroviário interior.

A hierarquização desses indicadores cria um sistema de incentivos que direciona as partes interessadas para práticas mais sustentáveis, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do transporte de carga nas hidrovias brasileiras interiores. Além disso, a transparência na divulgação desses indicadores pode aumentar a responsabilidade e o comprometimento com práticas sustentáveis.

O objetivo proposto de hierarquizar indicadores de desempenho aplicáveis ao transporte de carga das hidrovias brasileiras interiores, com foco no desenvolvimento sustentável, foi plenamente realizado ao longo deste trabalho. A pesquisa incluiu e classificou indicadores essenciais, como qualidade da água, eficiência energética e emissão de poluentes, permitindo uma análise aprofundada das práticas atuais e a definição de prioridades para a melhoria contínua. Essa abordagem não apenas proporcionou uma base sólida para a formulação de políticas públicas e investimentos estratégicos, mas também promoveu a transparência e a responsabilidade ambiental entre as partes interessadas, contribuindo positivamente para um sistema de transporte mais sustentável e eficiente.

Embora a participação do THI seja menor do que a de outros modos de transporte no Brasil, os rios navegáveis, oferecem uma rede extensa e importante para o transporte de cargas. Os resultados encontrados nos permitem responder à seguinte pergunta de pesquisa: em que medida a hierarquização de indicadores de desempenho pode incentivar e melhorar o desenvolvimento sustentável do transporte de carga das hidrovias brasileiras interiores?

A pesquisa envolveu especialistas de várias funções e com diferentes habilidades, o que indicou que a hierarquização de indicadores de desempenho pode melhorar o desenvolvimento sustentável do transporte de carga nas hidrovias brasileiras interiores ao direcionar esforços para áreas críticas, como qualidade da água e eficiência energética, permitindo uma tomada de decisão informada e baseada em dados. Além disso, a transparência na divulgação desses indicadores incentiva práticas sustentáveis e responsabilidade ambiental entre as empresas. Essa abordagem também facilita o monitoramento contínuo do desempenho, possibilitando ajustes nas estratégias e garantindo que as metas de sustentabilidade sejam alcançadas, resultando em um sistema de transporte mais eficiente e ambientalmente responsável.

Os principais indicadores considerados em ordem de prioridade para um THI foram (todos com peso relativo superior a 5%): Qualidade da água, Disponibilidade para navegação da hidrovia, Emissão de poluentes no ar, Navegação interior/volume em relação ao PIB, Roubo, Tempo de espera para o serviço e Utilização da capacidade de armazenamento.

Portanto, deve-se dar atenção especial à adição e consolidação de um banco de dados histórico contendo esses indicadores. Isso será útil no processo de tomada de decisões sobre investimentos em THI.

Além disso, com as hipóteses apresentadas, as políticas de transporte devem fazer maior uso dos 26 indicadores propostos para aprimorar e consolidar o THI e buscar o desenvolvimento sustentável. É importante destacar as especificidades de cada região, pois condições geográficas, hidrológicas e de carga semelhantes (por exemplo, carga com baixo valor agregado) são encontradas em vários outros países em desenvolvimento. Isso sugere que as dimensões e indicadores priorizados nesta pesquisa também podem ser benéficos para esses países.

A posição desses indicadores cria um sistema de incentivos que orienta as partes interessadas em direção a práticas mais sustentáveis, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do transporte de cargas. Além disso, a transparência na divulgação desses indicadores pode aumentar a responsabilidade e o compromisso com práticas sustentáveis.

É recomendável que, em projetos futuros, os indicadores de desempenho propostos neste estudo sejam aplicados, juntamente com suas respectivas métricas apresentadas na Tabela 10, para a realização de uma análise abrangente do desempenho das hidrovias estudadas. Portanto, em futuras revisões da lista de indicadores prioritários, é aconselhável dar maior ênfase à inclusão de novos indicadores relacionados ao meio ambiente. Uma opção viável seria considerar a inclusão de indicadores que avaliem a quantidade de resíduos gerados durante as operações portuárias e hidroviárias, podendo levar em conta o transporte de passageiros.

Além disso, seria proveitoso conduzir estudos de caso específicos em hidrovias mais complexas, comparando as rotas de transporte de uma determinada hidrovia com duas ou mais alternativas. É importante destacar que, nesses casos, será necessário definir indicadores específicos para essa análise, devido às particularidades de cada hidrovia.

Também é interessante explorar o uso de outros métodos de análise multicritério, como DEA (Análise Envoltória de Dados), MACBETH (Medição Através de Métodos Baseados em Escalas) e outros. Essas abordagens podem fornecer compreensões adicionais sobre o desempenho e a eficiência das hidrovias.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras. 2015. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/regioeshidrograficas2014.pdf> Acesso em: 12 jul 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Panorama das Águas. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/panorama-das-aguas/regioes-hidrograficas/regiao-hidrografica-amazonica>. Acesso em: 11 nov 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (ANTAQ). Plano Nacional de Integração Hidroviária (PNIH). Brasília, DF, 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (ANTAQ). TKU 2021: TKU da Navegação Interior, de cabotagem e Longo Curso em Vias Interiores. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/antaq/pt-br/central-de-conteudos/estudos-e-pesquisas-da-antaq-1/FinalapsaprovadaDiretoria.pdf>. Acesso em: 26 jan 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (ANTAQ). Boletim aquaviário 4º trimestre. Brasília, 2023a. Disponível em: <https://www.gov.br/antaq/pt-br/central-de-conteudos/estudos-e-pesquisas-da-antaq-1/BoletimAquavirio4trimestre2022Finalcorrecoesneto.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (ANTAQ). Rede de hidrovias bate recorde histórico de movimentação de cargas e inicia novo ciclo de expansão. Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ). Brasília-DF, 2023b. Disponível em: <https://www.gov.br/portos-e-aeroportos/pt-br/assuntos/noticias/2023/07/rede-de-hidrovias-bate-recorde-historico-de-movimentacao-de-cargas-e-inicia-novo-ciclo-de-expansao>>. Acesso em: 12 fev.2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (ANTAQ). Anuário Estatístico de Transportes 2013-2022. Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ). Brasília-DF, 2023c. Disponível em: <https://web3.antaq.gov.br/ea/sense/index.html>>. Acesso em: 07 fev.2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (ANTAQ). Estatístico Aquaviário 2023. Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ). Brasília-DF, 2023d. Disponível em: <https://web3.antaq.gov.br/ea/sense/indicadores.html#pt>. Acesso em: 15 fev. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (ANTAQ). Projeto de concessão do Rio Madeira é aprovado pela ANTAQ e segue para análise do MPor. Brasília-DF, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/antaq/pt-br/noticias/2024/projeto-de-concessao-do-rio-madeira-e-aprovado-pela-antaq-e-segue-para-analise-do-mpor>. Acesso em: 22 nov.2024.

AGUIAR V. Seca no Amazonas: Rio Negro atinge menor nível em 121 anos, com apenas 13,59 metros. CNN. 2023. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/seca-no>

amazonas-rio-negro-atinge-menor-nivel-em-121-anos-com-apenas-1359-metros/. Acesso em: 18 dez. 2023.

ALMEIDA, F. M.; SANTOS, L. A.; SILVA, R. A. Multicriteria Decision Aiding for R&D Project Prioritization: A case study in an oil & gas company. *ISys - Brazilian Journal of Information Systems*, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5753/isys.2020.532>.

ALMEIDA D.A. O Rio São Francisco como alternativa de transporte para o estado de Minas Gerais. 2012. Belo Horizonte. MG. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9BVG7/1/vers_o_final___pdf Acesso em: 09 jul 2022.

ALMEIDA, A. T. Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério. São Paulo: Atlas, 2013.

ALVARENGA H. Matriz de transportes do Brasil à espera dos investimentos. ILOS – Especialista em Logística e supply chain. (2020). Disponível em: <https://ilos.com.br/tag/matriz-de-transportes/> Acesso em: 25 mai. 2021.

ANDRADE, C. E. S. de, Avaliação do desempenho de sistemas metroferroviários sob a ótica da qualidade dos serviços prestados aos usuários: Aplicação no Metrô do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado, UFRJ/COPPE, 2009. Disponível em: http://www.lesfer.coppe.ufrj.br/images/documentos/dissertacoes/Carlos_Eduardo_Sanches_de_Andrade.pdf. Acesso em: 15 mar. 2022.

BANCO MUNDIAL. Sustainable Development of Inland Waterways Transport in Vietnam. 2019. Disponível em: [Development-of-Inland-Waterways-Transport-in-Vietnam-Strengthening-the-Regulatory-Institutional-and-Funding-Frameworks.pdf](#) Acesso em: 29 jun. 2021.

BARBIERI, J. C. Desenvolvimento e meio ambiente: as estratégias de mudanças da agenda 21. Petrópolis, RJ: Vozes, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-75901998000200008>. Acesso em: 22 ago. 2023.

BARBOSA, K. M.; CAMPOS, P. C. O.; PAZ, I. S. R.; REIS, M. M.; e AMORIM, J. C. C. Análise multicritério para hierarquização de indicadores de desempenho aplicada a gestão de hidrovias brasileiras. *Revista Transportes*, 31(1), 2023. DOI: <https://doi.org/10.58922/transportes.v31i1.2687>.

BARBOSA, K. M.; AMORIM, J. C. C.; REIS, M. M. Avaliação Hierárquica de Indicadores de Desempenho para Hidrovias. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Instituto Militar de Engenharia.

BARBOSA, K. M.; MEIRA L. H. Indicadores de Sustentabilidade aplicados ao Transporte Hidroviário Interior. 2021. In: Anais do 35 Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET. Online, 2021, p 207 – 218.

BARROS, B. R. C. de Transporte hidroviário interior na Amazônia: avaliação sobre governança e sustentabilidade. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília (UNB), Brasília, 2022. Disponível em:

http://icts.unb.br/jspui/bitstream/10482/46161/1/2022_BrunaRenataCavalcantedeBarros.pdf. Acesso em: 05 jan. 2024.

BARROS, B. R. C.; CARVALHO, E. B.; BRASIL JUNIOR, A. C. P. Desempenho orçamentário e governança na gestão de projetos de infraestrutura: o caso do transporte hidroviário interior brasileiro. *Cadernos EBAPE.BR*, v. 21, n. 5, 2023. DOI: <https://www.scielo.br/j/cebape/a/9cNPYWGtFjtHGyJXrDYtkGh/?format=pdf&lang=pt>

BLANCHARD, O., & JOHNSON, D. R. *Macroeconomics*. Pearson.2021.

BOTELHO, J. C.; SILVA, P. G. M.; BELLO, L. A. L. Gerenciamento de portfólio de projetos em associação sem fins lucrativos: uma abordagem utilizando o Método MACBETH. *Exacta*, v. 19, n. 3, p. 587-608, jul./set. 2021. DOI: <https://doi.org/10.5585/exacta.v19n3.14234>.

BRASIL, Estudos para viabilizar a implantação de projeto específico para a fiscalização do setor hidroviário nacional. 2003. Acórdão n. 1.850/2003-TCU-Plenário (TC n. 8.588/2003-8). Brasília.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão. Secretaria de Planejamento e Assuntos Econômicos. Guia Metodológico para indicadores. Orientações Básicas Aplicadas à Metodologia do Plano Plurianual, Brasília, DF. 2018.

CAMP, L.de S.K., HERNANDEZ, C.T. AHP e ANP combinados com método de otimização restrita na tomada de decisão multicritério para manutenção preventiva. *Revista de Engenharia e Tecnologia*. 2021. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/18273/209209215364>. Acesso em: 29 nov. 2024.

CAMPOS NETO, C. A da S.; PAULA, J. M. P. de.; POMPERMAYER, F. M. Hidrovias no Brasil: perspectiva histórica, custos e institucionalidade. Rio de Janeiro: IPEA, 2014. Texto para Discussão n. 1931. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/2714/1/TD_1931.pdf. Acesso em: 19 out. 2022.

CIFRIAN, E.; ANDRES, A.; VIGURI, J.R. Estimating monitoring indicators and the Carbon Footprint of Municipal Solid Waste Management in the Region of Cantabria, Northeast Spain. 2013. *Waste and Biomass Valorization*, v4, n.2, p 271-285.

ČINČURAK ERCEG, Biljana. Transporte por vias navegáveis interiores na União Européia – em andamento ou em pé?. In: *Anais da 6ª Conferência Científica Internacional "Mudanças Sociais no Mundo Global"*. 2019. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3841156. Acesso em: 23 ago. 2022.

CINELLI, M., Kadziński, M., GONZALEZ, M. SŁOWIŃSKI, R. How to support the application of multiple criteria decision analysis? Let us start with a comprehensive taxonomy. Omega (United Kingdom). Elsevier Ltda. 2020.

CITAq. Centro de Informação em Transporte Aquaviário. Disponível em: <http://ciant4q.wordpress.com/hidrovias/transporte-hidroviario-interior-no-mundo>. Acesso em: 28 abr. 2022.

COOLING, A., HEKKENBERG, R., van HASSEL, EBHJ, Vidić, M., & Bačkalov, I. (2022). Uma comparação do potencial de aplicação do platooning aquaviário para os corredores do Danúbio e do Reno. *European Transport Research Review*, 14 (1), 1-17. Disponível em: <https://etr.springeropen.com/articles/10.1186/s12544-022-00526-5>. Acesso em: 28 mar. 2023.

CONSTANTE, R.Z. Proposta de método de implantação de AIS nas hidrovias interiores. 2017. 130 f. Dissertação (Engenharia de Transportes e Gestão Territorial) - Universidade Federal de Santa Catarina, SC. 2017.

CORBA. Central Ohio River Business Association. Cargo Capacity of Different Transportation Modes. Disponível em: <https://centralohioriverbusinessassociation.com/cargo-capacity-different-transportation-modes>. Acesso em: 12 jan. 2024.

COSTA, Helder Gomes. Introdução ao método de análise hierárquica: análise multicritério no auxílio à decisão. Niterói: H.G.C., 2002. Disponível em: <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2004/pdf/arq0279.pdf> Acesso em: 14 dez. 2022.

COSTA, V.F. Painel CNT do Transporte mostra que movimentação de cargas nos portos brasileiros cresceu 3,7% em 2020. Disponível em: <https://www.abtc.org.br/index.php/noticias/noticias-do-setor/item/6580-painel-cnt-mostra-que-movimentacao-de-cargas-nos-portos-brasileiros-cresceu-3-7.html> Acesso em: 17 set. 2022.

CST – Center for Sustainable Transportation. Defining Sustainable Transportation. Paper prepared for Transport Canada, Toronto. (2005). Disponível em: https://www.wellingtonpark.org.au/assets/wellingtonpark_CSTdefiningustainabletransportation2005.pdf Acesso em: 24 abr. 2023.

DE BARROS, Bruna Renata Cavalcante; DE ALMEIDA CALAÇA, Murielly Sthefhany; DE CARVALHO, Eliezé Bulhões. 11º Seminário Internacional de Transporte Hidroviário Interior. 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Murielly-De-Almeida-Calaca/publication/337024027_Auxilios_a_navegacao_como_fator_de_desenvolvimento_de_hidrovias_Programa_Nacional_de_Sinalizacao_Aquaviaria_Interior_PROSINAQUA/links/5eb04e83299bf18b9594c403/Auxilios-a-navegacao-como-fator-de-desenvolvimento-de-hidrovias-Programa-Nacional-de-Sinalizacao-Aquaviaria-Interior-PROSINAQUA.pdf Acesso em: 26 ago. 2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Infraestrutura Aquaviária. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/aquaviario/old/hidrovia-do-paraguai#:~:text=As%20cidades%20mais%20importantes%20na,em%20Mato%20Grosso%20do%20Sul.&text=A%20hidrovia%20do%20rio%20Paraguai,%2C%20Taquari%2C%20Negro%20e%20Miranda>. Acesso em: 27 mai 2022.

DOBRANSKYTE-NISKOTA, A.; PERÚJO, A.; PREGI, M. Indicadores para avaliar a sustentabilidade das atividades de transporte. Comissão Europeia, Centro Comum de Investigação, 2009. Disponível em: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC41602/indicators%20report_green%20template.pdf. Acesso em: 10 ago. 2022.

ECMT, 2004. Assessment and decision making for sustainable transport. ECMT, OECD. www.oecd.org

EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA – EPL (2021) Relatório Executivo – Plano Nacional de Logística 2035. EPL: Brasília, 2020. Disponível em: <https://ontl.epl.gov.br/wp-content/uploads/2021/10/PNL_2035_29-10-21.pdf>. Acesso em: 15 fev de 2022.

ENSSLIN, Leonardo; MONTIBELLER NETO, Gilberto; NORONHA, Sandro Mac Donald. Apoio à Decisão: metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas. Florianópolis: Insular, 2001.

ENSSLIN, L. et al. Avaliação do desempenho de empresas terceirizadas com o uso da metodologia multicritério de apoio à decisão - construtivista. *Pesquisa Operacional*, v. 30, n. q, p. 125-152, 2009.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO PARANÁ (FIEP). Estudo constata baixo uso e ineficiência de ferrovias, hidrovias e rodovias. (2017). Disponível em: <https://www.fiepr.org.br/observatorios/energia/FreeComponent21893content343884.shtml> Acesso em: 25 nov. 2024.

FISCHMANN, A. A., & ZILBER, M. A. Utilização de indicadores de desempenho para a tomada de decisões estratégicas: Um sistema de controle. *Revista de Administração Mackenzie (Mackenzie Management Review)*. 2009.

FREITAS, Eduardo de. "Rio Danúbio "; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/rio-danubio.htm>. Acesso em: 12 mai. 2023.

GOETSCH, D. L., DAVIS, S. B. *Quality Management for Organizational Excellence*. Pearson. 2019.

GOMES, L.F.A.M. Modelagem do risco no apoio à tomada de decisão. *Revista de Ciência, Tecnologia e Inovação*, v. 1, n. 1, p. 3-14, 2016.

GOMES, R.; ARAYA, I.; CARIGNANO, C. Métodos de análise multicritério: uma revisão das forças e fraquezas. *Revista ADMpg Gestão Estratégica*, v. 5, n. 1, p. 129-136, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5753/admpg.v5n1.13994>.

GUDMUNDSSON, H. (2004). Sustainable Transport and Performance Indicators. *Issues in Environmental Science and Technology*, (20), 35-63.

HEALY, P. M., & PALEPU, K. G. *Business analysis and valuation: Using financial state-ments, text and cases*. Cengage Learning. 2007.

HAVINGA, H. " Towards Sustainable River Management of the Dutch Rhine River." *Água* 12.6. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/6/1827>. Acesso em: 03 set. 2022.

HOLDEN, E.; GILPIN e D. BANISTER (2019) Sustainable mobility at thirty. *Sustainability*, v. 11, n. 7, p. 1965. DOI: 10.3390/su11071965.

HOSSAIN NUI , S. El Amrani , R. Jaradat , M. Marufuzzaman , R. Buchanan , C. Rinaudo , M. Hamilton. Modelagem e avaliação de interdependências entre infraestruturas críticas usando rede bayesiana: um estudo de caso de porto hidroviário interior e rede de cadeia de suprimentos circundante Confiável. 198 (2020), Artigo 106.898 ,10.1016/j.ress.2020.106898.

IBADI, M.K. Developing standardized sustainable transportation indicators set. J. Univ. Babylon 25, 1779–1786. 2017. Disponível em: <https://www.iasj.net/iasj/download/56a35134114687ad>. Acesso em: 26 jun. 2021.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Bacias Hidrográficas do Brasil. BHB250. Documentação Técnica Versão 2021. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: https://geofpt.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/estudos_ambientais/bacias_e_divisoes_hidrograficas_do_brasil/2021/Divisao_Hidrografica_Nacional_DHN250/mapas/mapa_das_divisoes_hidrograficas_do_brasil_2021.pdf. Acesso em: 15 dez 2022.

INE – Inland Navigation Europe. 2023. Disponível em: <https://www.inlandnavigation.eu/> Acesso em: 31 jan 2023.

JAIMURZINA, A. RIGO, P. Advances in the classification of inland waterways in South America. ECLAC - Economic Commission for Latin America and the Caribbean. Issue No. 362 - Number 2/2018.

JEON, C.M., AMEKUDZI, A. Addressing sustainability in transportation systems: definitions, indicators, and metrics. ASCE Journal of Infrastructure Systems 11 (1), 31–50, 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/245289031_Addressing_Sustainability_in_Transportation_Systems_Definitions_Indicators_and_Metrics. Acesso em: 30 jul 2023.

JOKAR FAEZE, M.; JALALI VARNAMKHASTI, M.; HADI-VENCHEH, A. A New ELECTRE Method Based on Left and Right Score for Multicriteria Decision-Making. *Mathematical Problems in Engineering*, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1155/2023/6414686>.

KAPLAN, R. S., & NORTON, D. P. Balanced Scorecard: Step-by-Step for Government and Nonprofit Agencies. Wiley. 2020.

LIMA, A. C.; FERREIRA, J. F. Análise da eficiência escolar utilizando a metodologia DEA: um estudo no município de Sobral-CE. *Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação*, v. 29, n. 1, p. 55-72, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-40362021000100004>.

LITMAN, T. Well measured developing indicators for comprehensive and sustainable transport planning, Victoria Transport Policy Institute, Victoria, British Columbia, Canada. 2021. Disponível em: <https://www.vtppi.org/wellmeas.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2021.

MACHADO, E. L.; SANTOS, A. P. L.; SANTOS FILHO, M. L. Utilização do método multicritério PROMETHEE para definição da ordem de manutenção de pontes. 4º Simpósio Paranaense de Patologia das Construções (4º SPPC), artigo 4SPPC102, pp. 10 – 19, 2019. DOI: 10.4322/2526-7248.024

MAGALHÃES, I., SANTOS, E. O setor de Transportes e os objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030. *Revista Transportes*, 2023. DOI: <https://doi.org/10.58922/transportes.v3i1i3.2844>.

MARINHA DO BRASIL. Diretoria de Portos e Costas. Normas da Autoridade Marítima para Embarcações Empregadas na Navegação Interior – NORMAM-02/DPC. [S. l.], 2005. Disponível em: <https://www.dpc.mar.mil.br/sites/default/files/normam02_1.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

MARINS, C. S., SOUZA, Daniela de Oliveira, FREITAS, André Luis Policani. A metodologia de multicritério como ferramenta para a tomada de decisões gerenciais: um estudo de caso. *GEPROS*, 2006.

MARIOTONNI, C.A.; CANADA, C. B. S. Aplicação do método Delphi na prática de serviços ambientais em mananciais. *Revista DAE*. núm. 209, vol. 66, janeiro a março de 2018. 2016.

MEIRA, L.H.; I.C.O.M. AMORIM; OLIVEIRA, L.K. et al. (2021) Measuring the impact of Brazilian transport systems on the 2030 Agenda Goals. *Journal of Sustainable Development*, v. 14, n. 2, p. 82. DOI: 10.5539/jsd.v14n2p82.

MEREGE. F. Indicadores da Navegação Hidroviária Mista na Região Amazônica. In: 7 SOBENA - Seminário de Transporte e Desenvolvimento Hidroviário Interior, Porto Alegre/RG. 7 SOBENA, 2011.

MIHIC, Svetlana; GOLUSIN, Mirjana; MIHAJLOVIC, Milão. Política e promoção do transporte hidroviário interior sustentável na Europa-Rio Danúbio. *Revisões sobre energia renovável e sustentável*, v. 15, n. 4, pág. 1801-1809, 2011.

MOLINA, M.C.G. Desenvolvimento sustentável: do conceito de desenvolvimento aos indicadores de sustentabilidade. *RMGC – Revista Metropolitana de Governança Corporativa* Volume 4, número 1–2019ISSN –2447-8024. 2019. Disponível em: <https://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/RMGC/article/view/1889/1432>. Acesso em: 15 dez. 2023.

MPor – MINISTÉRIO DOS PORTOS E AEROPORTOS. Rede de hidrovias bate recorde histórico de movimentação de cargas e inicia novo ciclo de expansão. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/portos-e-aeroportos/pt-br/assuntos/noticias/2023/07/rede-de-hidrovias-bate-recorde-historico-de-movimentacao-de-cargas-e-inicia-novo-ciclo-de-expansao>. Acesso em: 01 dez. 2024.

NAG, D., PAUL, S.K., SAHA, S., GOSWAMI, A.K. Sustainability assessment for the Transportation environment of Darjeeling, India. *J. Environ. Manage.* 489–502. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.01.042>. Acesso em: 26 jun. 2021.

NOKELAYNEN, Tatiana S., 2018. Mapping of the environmental impacts of Inland Waterway Transport in Russia. *Proc. Int. Conf. “InterCarto/InterGIS”* 1 (24), 131–137. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/v-kulikov/publication/326521698_geoinformation_system_geology_of_southeastern_fennoscandia_prospects_for_its_use_in_compiling_state_geological_maps_and_environmental_protection_geoinformacionnaa_sistema_geologia_ugovostocnoj_fennos/links/5b52273d45851507a7b

3d359/geoinformation-system-geology-of-southeastern-fennoscandia-prospects-for-its-use-in-compiling-state-geological-maps-and-environmental-protection-geoinformacionnaa-sistema-geologia-ugo-vostocnoj-fennos.pdf#page=132 Acesso em: 15 abr 2023.

NUNES, Wanderley. A importância das hidrovias. *Revista Marítima Brasileira*, v. 140, n. 04/06, p. 33-52, 2020. Disponível em: <http://portaldeperiodicos.marinha.mil.br/index.php/revistamaritima/article/view/688/684>. Acesso em: 30 mar. 2023.

ODM Brasil – Objetivos de Desenvolvimento do Milênio Brasil. 2015. Disponível em: <https://www.portalodm.com.br/>. Acesso em: 27 set. 2023.

ONU – Organização das Nações Unidas. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. 2023. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 15 jun. 2023.

PADOVEZI, C.D, ASSY, L.A.do A. Sustentabilidade do transporte hidroviário de carga. 11º Seminário Internacional de Transporte e Desenvolvimento Hidroviário Interior – SOBENA, 2019.

PENG, Wu; SHUAI, Cao Feng; XIN, Xiao. Rio Yangtze: hidrovias douradas da China. In: *Anais da Instituição dos Engenheiros Cívicos-Engenharia Civil*. Thomas Telford Ltda, 2010. p. 15-18. Disponível em: <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/10.1680/cien.2010.163.5.15> Acesso em: 13 jan 2023.

PIANC - Associação Mundial de Pesquisa para Infraestrutura de Transporte Fluvial, Report nº 111-2010: Indicadores de Desempenho para o Transporte por Vias Navegáveis Interiores, Bélgica, 2010.

PLANO HIDROVIÁRIO ESTRATÉGICO (PHE). Relatório do Plano de Trabalho. 2012. Ministério dos Transportes. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/centrais-de-conteudo/phe-pdf>. Acesso em: 20 dez. 2021.

PLANO NACIONAL DE INTEGRAÇÃO HIDROVIÁRIA (PNIH). Agência Nacional de Transportes Aquaviários, 2013. Disponível em: <http://pdriis.seplan.to.gov.br/index.php/transporte-e-logistica-estrategias/167-plano-nacional-de-integracao-hidroviaria-pnih#:~:text=O%20Plano%20Nacional%20de%20Integra%C3%A7%C3%A3o,%C3%A1reas%20prop%C3%ADcias%20para%20instala%C3%A7%C3%B5es%20portu%C3%A1rias>. Acesso em: 01 mar 2021.

PLANO PLURIANUAL 2008-2011(PPA) Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. 2007. Disponível em: https://www.gov.br/planejamento/pt-br/assuntos/plano-plurianual/arquivos/planos-plurianuais-anteriores/ppa-2008-2011/081015_ppa_2008_mespres.pdf Acesso em: 15 dez. 2021

POSSET M., PFLIEGL R., ZICH A. An integrated set of indicators for assessment of inland 39 waterway transportation performance. *Transportation Research Record: Journal of the 40 Transportation Research Board*, 2009. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3141/2100-10>. Acesso em: 30 jun. 2021.

POTTER, Beatrix. Os Prós e contras do transporte aquático. 2020. Disponível em: <https://urbantransportnews.com/article/the-pros-and-cons-of-water-transportation>. Acesso em: 15 set 2022.

PRAVEEN, S.; JEGAN, J. Key Issues & Challenges for Inland Water Transportation Network in India. *Int J Sci Res Dev*, v. 3, n. 10, pág. 2321-0613, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Saravanan-Praveen/publication/305380888_Key_Issues_Challenges_for_Inland_Water_Transportation_Network_in_India/links/5cd504a8458515712ea06fa8/Key-Issues-Challenges-for-Inland-Water-Transportation-Network-in-India.pdf. Acesso em: 14 out 2022.

RADLER J., WITOTO V. 2023: o ano em que a Amazônia secou. Instituto Socio Ambiental – ISA. 2023. Disponível em: <https://www.socioambiental.org/noticias-socioambientais/2023-o-ano-em-que-amazonia-secou>. Acesso em: 10 jan de 2024.

RAO, S. H. Transportation synthetic sustainability indices: A case of Taiwan intercity railway transport. *Ecological Indicators*, volume 127, August 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107753>.

RODRIGUES, B.O, TARQUI, J.L.Z. A hidrodinâmica por trás do bloqueio do Canal de Suez. XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2021. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/142/XXIV-SBRH0343-1-20210624-11033.pdf> Acesso em: 14 set 2022.

ROHÁCS J. E SIMONGÁTI G. The role of inland waterway navigation in a sustainable transport system, *Transport*, 22:3, 148-153, 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/330474233_The_role_of_inland_waterway_navigation_in_a_sustainable_transport_system. Acesso em: 22 jun. 2021.

SAATY, Thomas L. Método de Análise Hierárquica. São Paulo, McGraw-Hill, Makron, 1991.

SAATY, T. L., VARGAS, L. G. Models, methods, concepts applications of the analytic hierarchy process Norwell: Kluwer Academic Publishers. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4615-1665-1>.

SANTOS, J. T. de A. N. et al. Modelo Logístico Hidroviário. 2017. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/5916>. Acesso em: 07 abr. 2021.

SDOUKOPOULOS, A.; PITSIAVA-LATINOPOULOU, M.; BASBAS, S.; e PAPAIOANNOU, P. Measuring progress towards transport sustainability through indicators: Analysis and metrics of the main indicator initiatives. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, volume 67, February 2019, p. 316-333. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.11.020>.

SHIAU, T. A., LIU, J. S. Developing an indicator system for local governments to evaluate transport sustainability strategies. *Ecological Indicators*, volume 34, 2013, p. 361–371. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.06.001>.

SILVA, R.T.da., BRANDALISE, N., CARNEIRO, C.A.G.V. Utilizando o método TODIM para avaliar as melhores empresas para trabalhar. *Independent Journal of Management &*

Production, vol. 2. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo. Avaré, Brasil. 2019. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4495/449544415001.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2024.

SILVA, M. A.; COUTINHO, S. S.; OLIVEIRA, R. F. A Técnica Delphi no processo de validação do Questionário de Avaliação da Qualidade de Serviços de Atenção Básica (QualiAB). *Saúde e Sociedade*, v. 30, n. 2, p. e190505, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-12902021190505>.

SOLOMON, B., OTOO, E., BOATENG, A., & KOOMSON, DA. 2021. Inland Waterway Transportation (IWT) in Ghana: A case study of Volta Lake Transport. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 10 (1), 20-33. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2046043020300332> Acesso em: 15 jun 2022.

TAPAJÓS, D.R. Modelo de Indicadores de Suatentabilidade Aplicável a Hidrovias na Amazônia – MISAHA. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/4704>. Acesso em: 22 jan. 2022.

TCU – Tribunal de Contas da União. Relatório de avaliação de programa: Programa Manutenção de Hidrovias / Tribunal de Contas da União. Brasília: Secretaria de Fiscalização e Avaliação de Programas de Governo, 2006.

UNESCAP. Transport and Communications Bulletin for Asia and the Pacific n. 87, 2017. Disponível em: https://www.unescap.org/sites/default/files/publications/bulletin87_Fulltext.pdf. Acesso em: 02 jul. 2021.

VAN DEN BERG, R., DE LANGEN, P.W. Environmental sustainability in container transport: the attitudes of shippers and forwarders. *Int. J. Logist. Res. Appl.* 20 (2), 2017.

WANG, Y.; CHEN, X.; BORTHWICK, A. G. L.; LI, T.; LIU, H.; YANG, S.; ZHENG, C.; XU, J.; e NI, J. Sustainability of global Golden Inland Waterways. *Nature Communications*, volume 11, Article 1553 (2020), p. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15354-1>.

WCED. Our common future. New York: Oxford University Press, 1987. Disponível em: https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/152/WCED_v17_doc149.pdf. Acesso em: 25 abr. 2022.

WRI. World Greenhouse Gas Emissions in 2016. Washington/DC: World Resources Institute, 2020. Disponível em: <https://www.wri.org/blog/2020/02/greenhouse-gas-emissions-by-country-sector>. Acesso 29 set. 2023.

YÜKSEL, İ. DAĞDEVIREN, M. Using the analytic network process (ANP) in a SWOT analysis-A case study for a textile firm. *Information Sciences*, Vol. 177, No. 16, pp. 3364-3382, 2007.

APÊNDICE A

Tabela 20: Indicadores de sustentabilidade selecionados e aplicados as hidrovias interiores

Dimensões / Indicadores	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ECONÔMICO												
PIB e renda per capita		X							X	X	X	
Qualidade do serviço					X		X	X			X	
Construção e manutenção/ infraestrutura	X		X	X	X	X				X		
Custos do transporte	X	X	X	X					X	X		X
Navegação interior / volume em relação ao produto interno bruto					X							
Impacto econômico de passageiros e transporte de carga					X							
SOCIAL												
Acesso ao transporte para grupos vulneráveis						X		X		X	X	
Mortes/Acidentes						X	X	X			X	X
Segurança		X	X	X	X	X		X		X		X
Mobilidade e acessibilidade			X			X		X		X		X
Emprego			X	X	X			X		X	X	
Tempo de viagem				X	X		X	X		X		
AMBIENTAL												
Emissão de poluentes para a água.		X								X	X	
Consumo de combustível					X	X		X		X	X	X
Níveis de ruído		X			X	X	X	X	X	X	X	
Emissões de gases de efeito estufa		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Eficiência energética			X			X	X			X		
Riscos e danos ambientais			X									
Qualidade da água				X	X					X		

Fonte: Barbosa e Meira (2021)

Tabela 21: Questionário 1 enviado aos especialistas

Comparativo de Indicadores Globais										
Indicador Global 1	Absoluto	Muito maior	Maior	Pouco maior	Igual	Pouco maior	Maior	Muito maior	Absoluto	Indicador Global 2
Infraestrutura										Portos
Infraestrutura										Meio Ambiente
Infraestrutura										Frota e Veículos
Infraestrutura										Carga
Infraestrutura										Tecnologia da Informação e Comunicação
Infraestrutura										Desenvolvimento Econômico
Infraestrutura										Prevenção de Acidentes
Infraestrutura										Segurança
Portos										Meio Ambiente
Portos										Frota e Veículos
Portos										Carga
Portos										Tecnologia da Informação e Comunicação
Portos										Desenvolvimento Econômico
Portos										Prevenção de Acidentes
Portos										Segurança
Meio Ambiente										Frota e Veículos
Meio Ambiente										Carga
Meio Ambiente										Tecnologia da Informação e Comunicação
Meio Ambiente										Desenvolvimento Econômico

Meio Ambiente										Prevenção de Acidentes
Meio Ambiente										Segurança
Frota e Veículos										Carga
Frota e Veículos										Tecnologia da Informação e Comunicação
Frota e Veículos										Desenvolvimento Econômico
Frota e Veículos										Prevenção de Acidentes
Frota e Veículos										Segurança
Carga										Tecnologia da Informação e Comunicação
Carga										Desenvolvimento Econômico
Carga										Prevenção de Acidentes
Carga										Segurança
Tecnologia da Informação e Comunicação										Desenvolvimento Econômico
Tecnologia da Informação e Comunicação										Prevenção de Acidentes
Tecnologia da Informação e Comunicação										Segurança
Desenvolvimento Econômico										Prevenção de Acidentes
Desenvolvimento Econômico										Segurança
Prevenção de Acidentes										Segurança

Fonte: O Autor(2023)

Infraestrutura: Indicadores de desempenho nessa área, podem ajudar a fornecer orientações sobre financiamento e priorizar a melhoria e manutenção de infraestruturas de navegação, instalações de transbordo e eliminar gargalos, conciliando diferentes objetivos políticos. Outro objetivo é analisar a capacidade e disponibilidade de vias navegáveis para enfatizar o seu potencial e para torná-los comparáveis a outros modos de transporte.

Portos: A intenção principal deste indicador de desempenho, é proporcionar um padrão mínimo para permitir a avaliação neutra e avaliação comparativa da qualidade das instalações portuárias diferentes.

Meio Ambiente: No contexto da navegação interior o argumento de transportes amigos do ambiente é usado com bastante frequência. O objetivo é fortalecer o amistoso modo de transporte na escolha ambiental e auxiliar na melhoria dos processos operacionais.

Frota e veículos: Esta área de aplicação abrange fatores financeiros, bem como os fatores relativos ao tempo de funcionamento, capacidade, dimensões dos navios de uma frota e dados estatísticos. O objetivo é fornecer informações sobre os veículos e frotas existentes, que permite decisões acertadas em planejamento de investimentos a longo prazo.

Carga: O desempenho da navegação interior pode ser medido em termos de transporte de carga. Esta área de aplicação pode ser utilizada como um indicador para a atratividade e competitividade dos serviços de navegação terrestre oferecidos dentro de uma região ou país. A quantidade de carga transportada reflete a aceitação do sistema de navegação fluvial pelos usuários. Ele também pode ser analisado em termos de investimento para avaliar o impacto a longo prazo dos investimentos em frota e instalações.

Tecnologia da Informação e Comunicação: A avaliação da Informações e tecnologias da comunicação (TIC) na navegação interior é um componente essencial de uma avaliação de desempenho de todo o sistema. O principal propósito desta área de aplicação é detectar o estado atual dos serviços oferecidos nas vias diferentes, bem como a qualidade do serviço.

Desenvolvimento Econômico: O objetivo do desenvolvimento de indicadores de desempenho para nesta área é a criação de uma perspectiva integrada, que dá uma visão sobre a competitividade e atratividade de uma região ou país, no âmbito da navegação interior. Ele também pode ser usado para planejar futuras operações (por exemplo, número de funcionários necessários no futuro).

Prevenção de Acidentes: O objetivo das medidas de desempenho de segurança são para minimizar o risco para a população e para proteger o meio ambiente, garantindo o bom funcionamento da hidrovia. Para este efeito, até data dos dados de acidentes são cruciais, especialmente aqueles acidentes em que os navios são afundados e / ou carga ou óleo combustível é derramado. Estes dados podem ser expressos em termos de severidade do incidente (por exemplo insignificante, menor, substancial, maior) e a frequência com que ocorrem (número de vezes por ano, em um determinado trecho fluvial).

Segurança: O termo segurança é usado para descrever como os bens seguros e confiáveis são transportados e armazenados e quais ações são tomadas para manter a segurança no sistema de transporte. Isso inclui a prevenção ativa contra o crime premeditado, como roubo ou contrabando, bem como quaisquer danos causados por esses atos. Ambas as embarcações e infraestrutura são considerados. Esta informação também é benéfica para o cálculo de riscos de companhias de seguros.

Tabela 22: Questionário 2 a enviado aos especialistas

Comparativo de Indicadores Específicos (Critérios)										
Infraestrutura										
Critérios	Absoluto	Muito maior	Maior	Pouco maior	Igual	Pouco maior	Maior	Muito maior	Absoluto	Critérios
Utilização das eclusas										Disponibilidade para navegação da hidrovia
Utilização das eclusas										Capacidade da hidrovia
Utilização das eclusas										Dragagem/manutenção de navegação
Disponibilidade para navegação da hidrovia										Capacidade da hidrovia
Disponibilidade para navegação da hidrovia										Dragagem/manutenção de navegação
Capacidade da hidrovia										Dragagem/manutenção de navegação
Portos										
Critérios	Absoluto	Muito maior	Maior	Pouco maior	Igual	Pouco maior	Maior	Muito maior	Absoluto	Critérios
Utilização da capacidade de armazenamento										Tempo de espera para o serviço
Meio Ambiente										
Critérios	Absoluto	Muito maior	Maior	Pouco maior	Igual	Pouco maior	Maior	Muito maior	Absoluto	Critérios
Consumo de combustível										Emissão de poluentes no ar
Consumo de combustível										Qualidade da água
Consumo de combustível										Construção e manutenção
Emissão de poluentes no ar										Qualidade da água
Emissão de poluentes no ar										Construção e manutenção
Qualidade da água										Construção e manutenção
Frota e Veículos										
Critérios	Absoluto	Muito maior	Maior	Pouco maior	Igual	Pouco maior	Maior	Muito maior	Absoluto	Critérios

Manutenção, assistência técnica, suprimentos operacionais											Capacidade de transporte da frota
Carga											
Critérios	Absoluto	Muito maior	Maior	Pouco maior	Igual	Pouco maior	Maior	Muito maior	Absoluto	Critérios	
Transporte de carga											Qualidade percebida/Satisfação do usuário com a carga
Tecnologia da Informação e Comunicação											
Critérios	Absoluto	Muito maior	Maior	Pouco maior	Igual	Pouco maior	Maior	Muito maior	Absoluto	Critérios	
Frequência de atualização de gráficos eletrônicos do canal navegável											Precisão de cartas náuticas eletrônicas
Frequência de atualização de gráficos eletrônicos do canal navegável											Disponibilidade de informações eletrônicas da via navegável
Frequência de atualização de gráficos eletrônicos do canal navegável											Disponibilidade sistemas de informação portuário
Precisão de cartas náuticas eletrônicas											Disponibilidade de informações eletrônicas da via navegável
Precisão de cartas náuticas eletrônicas											Disponibilidade sistemas de informação portuário
Disponibilidade de informações eletrônicas da via navegável											Disponibilidade sistemas de informação portuário
Desenvolvimento Econômico											
Critérios	Absoluto	Muito maior	Maior	Pouco maior	Igual	Pouco maior	Maior	Muito maior	Absoluto	Critérios	
Emprego											Navegação interior/volume em relação ao produto interno bruto

Emprego											Impacto econômico do transporte de carga
Emprego											Desenvolvimento regional e local
Navegação interior/volume em relação ao produto interno bruto											Impacto econômico do transporte de carga
Navegação interior/volume em relação ao produto interno bruto											Desenvolvimento regional e local
Impacto econômico do transporte de carga											Desenvolvimento regional e local
Prevenção de Acidentes											
Critérios	Absoluto	Muito maior	Maior	Pouco maior	Igual	Pouco maior	Maior	Muito maior	Absoluto		Critérios
Lesões, mortes, danos materiais											Acidentes
Lesões, mortes, danos materiais											Impacto econômico de acidentes
Acidentes											Impacto econômico de acidentes

Fonte: o Autor (2023).

Figura 322: Formulário aplicado de forma online pelo Google Forms

Formulário de validação de dados

B I U ↻ ✕

Prezado(a) avaliador(a),

Com o intuito de validar o modelo proposto em minha Tese de Doutorado, desenvolvida no programa de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, solicito sua colaboração para responder ao questionário apresentado abaixo, seguindo a metodologia descrita:

Objetivo: Comparar par a par os "Indicadores que influenciam no Desempenho das Hidrovias Brasileiras Interiores no Transporte de Carga".

Essa comparação será realizada por meio de intensidades, cujos significados estão detalhados na Tabela abaixo.

Caso surjam quaisquer dúvidas ou necessite de mais informações, estou disponível através do telefone (92) 99157-5761 ou do e-mail kattylinne.barbosa@ufpe.br.

Agradeço antecipadamente por sua participação neste estudo.

Atenciosamente,

Kattylinne de Melo Barbosa

E-mail *

E-mail válido

Este formulário está coletando e-mails. [Alterar configurações](#)

Exemplo de resposta do formulário, onde o avaliador diz que a Infraestrutura tem importância MAIOR que Portos.

Comparativo dos Indicadores	Absoluto	Muito maior	Maior	Pouco maior	Igual	Pouco maior	Maior	Muito maior	Absoluto
Infraestrutura X Portos			X						

Exemplo de resposta do formulário, onde o avaliador diz que a Segurança tem importância POUCO MAIOR que o Desenvolvimento Econômico.

Comparativo dos Indicadores	Absoluto	Muito maior	Maior	Pouco maior	Igual	Pouco maior	Maior	Muito maior	Absoluto
Desenvolvimento Econômico X Segurança						X			

Comparando a "Infraestrutura" com os demais indicadores: *

* Uma resposta por linha.

	Absoluto	Muito ...	Maior	Pouco ...	IGUAL	POUCO ...	MAIOR	MUITO ...	ABSOL...
Infraest...	<input type="checkbox"/>								
Infraest...	<input type="checkbox"/>								
Infraest...	<input type="checkbox"/>								
Infraest...	<input type="checkbox"/>								
Infraest...	<input type="checkbox"/>								
Infraest...	<input type="checkbox"/>								
Infraest...	<input type="checkbox"/>								

Comparando "Carga" com os demais indicadores: *

* Uma resposta por linha.

	Absoluto	Muito ...	Maior	Pouco ...	IGUAL	POUCO ...	MAIOR	MUITO ...	ABSOL...
Carga X...	<input type="checkbox"/>								
Carga X...	<input type="checkbox"/>								
Carga X...	<input type="checkbox"/>								
Carga X...	<input type="checkbox"/>								

Comparando "Informações e Tecnologia da Informação" com os demais indicadores: *

* Uma resposta por linha.

	Absoluto	Muito ...	Maior	Pouco ...	IGUAL	POUCO ...	MAIOR	MUITO ...	ABSOL...
Informa...	<input type="checkbox"/>								
Informa...	<input type="checkbox"/>								
Informa...	<input type="checkbox"/>								

Comparando "Desenvolvimento Econômico" com os demais indicadores: *

* Uma resposta por linha.

	Absoluto	Muito ...	Maior	Pouco ...	IGUAL	POUCO ...	MAIOR	MUITO ...	ABSOL...
Desenv...	<input type="checkbox"/>								
Desenv...	<input type="checkbox"/>								

Comparando "Prevenção de Acidentes" com os demais indicadores: *

* Uma resposta por linha.

	Absoluto	Muito ...	Maior	Pouco ...	IGUAL	POUCO ...	MAIOR	MUITO ...	ABSOL...
Prevenç...	<input type="checkbox"/>								

Tabela 1 - Escala Numérica de Saaty

Escala numérica	Escala verbal	Explicação
1	Mesma importância	Ambos os elementos contribuem com o objetivo de igual forma.
3	Importância pouco maior	A experiência e a opinião favorecem um elemento sobre o outro.
5	Importância maior	Um elemento é fortemente favorecido.
7	Importância muito maior	Um elemento é muito fortemente favorecido sobre o outro.
9	Importância absoluta	Um elemento é favorecido pelo menos com uma ordem de magnitude de diferença.
2,4,6,8	Valores intermediários entre as opiniões adjacentes	Usados como valores de consenso entre as opiniões.

Fonte: Saaty (1991).

Fonte: Autor (2023)

Figura 333: Email enviado para realização da pesquisa

The image shows a Gmail interface with an email from Kattylinne de Melo Barbosa. The email content includes a greeting, a request for help with a research project, and an embedded Google Form titled 'Formulário de validação de dados'. The form text is as follows:

Este é um convite para você preencher o formulário:

Formulário de validação de dados

Prezado(a) avaliador(a),

Com o intuito de validar o modelo proposto em minha Tese de Doutorado, desenvolvida no programa de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, solicito sua colaboração para responder ao questionário apresentado abaixo, seguindo a metodologia descrita:

Objetivo: Comparar par a par os "Indicadores que influenciam no Desempenho das Hidrovias Brasileiras Interiores no Transporte de Carga".

Essa comparação será realizada por meio de intensidades, cujos significados estão detalhados na Tabela abaixo.

Caso surjam quaisquer dúvidas ou necessite de mais informações, estou disponível através do telefone (92) 99157-5761 ou do e-mail kattylinne.barbosa@ufpe.br.

Agradeço antecipadamente por sua participação neste estudo.

Atenciosamente,

Kattylinne de Melo Barbosa

PREENCHER FORMULÁRIO

Fonte: Autor (2023)