

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Escola de Engenharia

Pós-Graduação em Geotecnia e Transportes

Marina Vasconcelos de Paula e Silva

**APLICAÇÃO DE UMA METODOLOGIA INOVADORA PARA CÁLCULO DE
CUSTOS DO TRANSPORTE ESCOLAR FLUVIAL: estudo de caso em Rondônia**

Belo Horizonte

2025

Marina Vasconcelos de Paula e Silva

**APLICAÇÃO DE UMA METODOLOGIA INOVADORA PARA CÁLCULO DE
CUSTOS DO TRANSPORTE ESCOLAR FLUVIAL: estudo de caso em Rondônia**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Geotecnia e Transportes da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Transportes.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Franco Porto

Coorientador: Prof. Dr. Lucas Vinicius Ribeiro
Alves

Belo Horizonte

2025

S586a

Silva, Marina Vasconcelos de Paula e.

Aplicação de uma metodologia inovadora para cálculo de custos do transporte escolar fluvial [recurso eletrônico] : estudo de caso em Rondônia / Marina Vasconcelos de Paula e Silva. - 2025.

1 recurso online (93 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Marcelo Franco Porto.

Coorientador: Lucas Vinicius Ribeiro Alves.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Inclui bibliografia.

1. Transportes - Teses. 2. Amazônia Legal - Teses. 3. Alunos - Transporte - Teses. 4. Custos - Teses. 5. Transporte rural - Teses. I. Porto, Marcelo Franco. II. Alves, Lucas Vinicius Ribeiro. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 656(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
COLEGIADO DO CURSO DE MESTRADO EM GEOTECNIA E TRANSPORTES
FOLHA DE APROVAÇÃO

Aplicação de uma metodologia inovadora para cálculo de custos do transporte escolar fluvial

MARINA VASCONCELOS DE PAULA E SILVA

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOTECNIA E TRANSPORTES, como requisito para obtenção do grau de Mestre em GEOTECNIA E TRANSPORTES, área de concentração TRANSPORTES. Aprovada em 04 de junho de 2025, pela banca constituída pelos membros:

Prof. Marcelo Franco Porto - Orientador (UFMG)
Prof. Lucas Vinicius Ribeiro Alves - Coorientador (Coltec - UFMG)
Prof. Nilson Tadeu Ramos Nunes (UFMG)
Prof. Taciano Oliveira da Silva (UFV)

Belo Horizonte, 4 de junho de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Marcelo Franco Porto, Professor do Magistério Superior**, em 04/06/2025, às 14:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Nilson Tadeu Ramos Nunes, Professor do Magistério Superior**, em 04/06/2025, às 14:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Lucas Vinicius Ribeiro Alves, Professor Ensino Básico Técnico Tecnológico**, em 06/06/2025, às 20:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Taciano Oliveira da Silva, Usuário Externo**, em 09/06/2025, às 08:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 4272261 e o código CRC 830AD699.

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo apoio incondicional.

Aos meus orientadores, Marcelo Franco Porto e Lucas Vinicius Ribeiro Alves, pela orientação, paciência, dedicação e pelas valiosas contribuições para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

O transporte escolar fluvial é essencial para garantir o acesso à educação em comunidades ribeirinhas da Amazônia, onde as vias navegáveis são muitas vezes a única opção de deslocamento. Este trabalho propõe um método inovador para cálculo de custos do transporte escolar fluvial, adaptando o sistema Transcolar Rural - originalmente desenvolvido para o modo rodoviário - às particularidades do transporte aquaviário. O modelo desenvolvido será futuramente utilizado na otimização de rotas no Transcolar Rural. O estudo utilizou o município de Porto Velho, no estado de Rondônia, como caso emblemático, considerando características como tipos de embarcação e estrutura operacional. A metodologia baseou-se no framework Action Design Science Research (ADSR), que é focado em desenvolvimento de artefatos e apresenta quatro ciclos: diagnóstico, projeto, implementação e evolução. Foi desenvolvido um modelo que integra custos fixos (depreciação, salários, seguros) e variáveis (combustível, motor), ajustados à realidade fluvial. Diferentemente do modelo rodoviário, que usa quilometragem como base, esta proposta calcula custos com base em horas de operação das embarcações, incorporando variáveis como tempo de embarque, número de paradas e velocidade média. Os resultados evidenciaram que os custos fixos representam mais de 80% do total, com destaque para folha de pagamento. O modelo foi validado com dados secundários e mostra potencial para: (1) orientar políticas públicas mais precisas de financiamento; (2) servir de base para futura otimização de rotas via algoritmos de Machine Learning; e (3) padronizar metodologias de cálculo em diferentes regiões amazônicas. O estudo traz como diferencial a inclusão do custo do motor como custo variável, adequando os cálculos ao que foi observado em campo. Entretanto, o modelo não incorporou variações sazonais que impactam diretamente a navegabilidade e os custos. Além disso, alguns parâmetros foram baseados em literatura, e não em dados primários de Porto Velho. Esta pesquisa abre caminho para novos estudos que incorporem dados em tempo real e variações sazonais, além de oferecer subsídios concretos para a melhoria do Programa Caminho da Escola em localidades fluviais. Os achados reforçam a necessidade de investimentos diferenciados no transporte escolar aquaviário, crucial para reduzir a evasão escolar em comunidades ribeirinhas.

Palavras-chave: transporte escolar fluvial; cálculo de custos; Transcolar Rural; políticas educacionais; Amazônia Legal.

ABSTRACT

River school transportation is essential to ensure access to education in riverside communities in the Amazon, where waterways are often the only transportation option. This paper proposes an innovative method for calculating river school transportation costs, adapting the Transcolar Rural system - originally developed for road transportation - to the particularities of river transportation. The model developed will be used in the future to optimize routes in the Transcolar Rural system. The study was carried out in the municipality of Porto Velho, in the state of Rondônia, as an emblematic case, considering characteristics such as types of boats and operational structure. The methodology is based on the Action Design Science Research (ADSR) framework, which focuses on the development of artefacts and presents four cycles: diagnosis, design, implementation and evolution. A model was developed integrating fixed costs (depreciation, updating, insurance) and variable costs (fuel, engine), adjusted to river transportation. Unlike the road model, which uses mileage as a basis, this proposal calculates costs based on the operating hours of the boats, incorporating variables such as boarding time, number of stops and average speed. The results showed that fixed costs represent more than 80% of the total, with emphasis on payroll. The model was validated with secondary data and shows potential to: (1) guide more precise public financing policies; (2) serve as a basis for future route optimization via Machine Learning algorithms; and (3) standardize calculation methodologies in different Amazon regions. The study's distinguishing feature is the inclusion of the engine cost as a variable cost, adapting the calculations to what was observed in the field. However, the model does not incorporate seasonal variations that directly impact navigability and costs. In addition, some parameters were based on the literature review, and not on primary data from Porto Velho. This research opens the way for new studies that incorporate real-time data and seasonal variations, in addition to offering subsidies for improving the *Caminho da Escola* Program in river locations. The results reinforce the need for differentiated investments in water-based school transportation, which is crucial to reducing school dropout rates in riverside communities.

Keywords: river school transportation; cost calculation; Transcolar Rural; educational policies; Legal Amazon.

FIGURAS

Figura 1.1 – Mapas do percentual médio municipal de alunos do país transportados por lanchas/voadeira e barcos de madeira	15
Figura 1.2 – Modelo do Transporte Escolar Rural Fluvial.....	16
Figura 1.3 – Embarque de alunos em Rondônia.....	17
Figura 1.4 – Embarcações de transporte escolar fluvial em Rondônia	17
Figura 2.1 – Algoritmo k-means	30
Figura 2.2 – Algoritmo DBSCAN.....	31
Figura 2.3 – Algoritmo k-Nearest Neighbors.....	31
Figura 2.4 – Redes Neurais Artificiais	32
Figura 3.1 – Mullarkey e Hevner (2019).....	35
Figura 3.2 – Fluxograma dos Modelos de Custos Utilizados no Sistema Transcolar Rural Para Transporte Escolar Fluvial.....	36
Figura 4.1 – Malha Fluvial do município de Porto Velho.....	40
Figura 4.2 – Custos fixos da LE-M – Percentual	48
Figura 4.3 – Custos variáveis – Percentual.....	53
Figura 4.4 – Percentual de Custos Fixos e Variáveis	55
Figura 4.5 – Percentual de todas as parcelas consideradas para custos fixos e variáveis	56
Figura 4.6 – Parâmetros de custo fluvial no sistema Transcolar Rural	57
Figura 4.7 – Viagens no município de Porto Velho no sistema Transcolar Rural	57
Figura 4.8 – Requisição no sistema Transcolar Rural com inclusão de transporte fluvial.....	58

Figura 4.9 – Relatório de viagens da requisição.....	58
Figura 5.1 – Embarcações utilizadas no Transporte Escolar Aquaviário no município de Porto Velho	60
Figura 5.2 – Embarcações mais antigas utilizadas no Transporte Escolar Aquaviário no município de Porto Velho.....	61

TABELAS

Tabela 2.1– Oferta de serviços gratuitos de Transporte Escolar rodoviário e aquaviário em 2018 (FNDE/UFG, 2018, adaptado).....	20
Tabela 2.2 – Custos fixos e variáveis nos diferentes modos de transporte (FNDE, 2019a).....	24
Tabela 4.1 – Encargos Sociais.....	45
Tabela 4.2 – Custos Fixos	47
Tabela 4.3 – Parâmetros de Custo Variável – Combustível e Lubrificantes.....	49
Tabela 4.4 – Custo total de combustível e lubrificantes.....	50
Tabela 4.5 – Custos Variáveis	52
Tabela 4.6 – Taxas componentes do BDI.....	53
Tabela 4.7 – Custos fixo e variável acrescidos do BDI.....	54

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Objetivos do trabalho	18
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	19
2.1	Transporte Escolar Fluvial.....	19
2.2	Modelo de Custos e Preços.....	23
2.3	Otimização de rotas	26
2.4	Machine Learning.....	27
3	METODOLOGIA PROPOSTA	34
3.1	Diagnóstico.....	35
3.2	Projeto.....	35
3.3	Implementação.....	37
3.4	Evolução	38
4	ESTUDO DE CASO	39
4.1	Custo Fixo	42
4.1.1	Remuneração do capital investido.....	42
4.1.2	Depreciação	43
4.1.3	Seguros	44
4.1.4	Salários da tripulação.....	44
4.1.5	Custo de manutenção e reparo.....	46
4.1.6	Custo fixo total anual.....	47

4.2	Custo Variável	48
4.2.1	Combustível e lubrificantes	48
4.2.2	Custo do motor	51
4.2.3	Custo variável total	52
4.3	BDI (Benefícios e despesas indiretas)	53
4.4	Custo total	54
4.5	Implementação no sistema Transcolar Rural	56
5	VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS	59
6	CONCLUSÃO	62
7	REFERÊNCIAS	65

ANEXOS

ANEXO 1 – QUESTIONÁRIO COM ESPECIALISTAS	72
ANEXO 2 – CÓDIGOS DO TRANSCOLAR	75

1 INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas (ONU) apresenta a educação de qualidade como o Objetivo 4 de Desenvolvimento Sustentável, defendendo a necessidade de “assegurar a educação inclusiva e equitativa e de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todas e todos” (Nações Unidas no Brasil, 2024).

No Brasil, a educação é um direito resguardado pela Constituição em seu Artigo 205, sendo dever do Estado e da família (Brasil, 1988). A não possibilidade de comparecimento à escola contribui para o fenômeno de evasão escolar e pode acarretar diversas consequências sociais, como a perda de oportunidades de emprego e de qualificação por parte dos indivíduos prejudicados. São diversas as causas da evasão escolar e, dentre elas, pode-se destacar a dificuldade de acesso às escolas.

De acordo com dados do Censo Escolar de 2024, mais de 5 milhões de alunos de educação básica residem em áreas rurais, totalizando mais de 50 mil escolas (INEP, 2024). Dessa forma, faz-se necessária a garantia de acesso desses alunos às escolas rurais. Dentre os empecilhos apresentados para esse acesso, pode-se destacar a dificuldade de deslocamento às unidades de ensino. Em áreas rurais, a distribuição espacial e a dispersão populacional resultam em grandes deslocamentos que devem ser realizados pelos alunos (Martins, 2010), comprovando a necessidade de existência do Transporte Escolar Rural (TER).

O Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) define o Transporte Escolar Rural como “o deslocamento dos alunos da rede pública de educação, que residem e/ou estudam em áreas rurais, ocorrendo a partir de suas residências ou um ponto de embarque, possibilitando o acesso às unidades de ensino, por meio de veículos escolares” (FNDE, 2023).

O Governo Federal possui dois programas que auxiliam os estados, Distrito Federal e municípios na oferta do serviço de transporte escolar: o Programa de Apoio ao Transporte do Escolar (PNATE) e o Programa Caminho da Escola. O PNATE foi instituído em 2004 no âmbito do Ministério da Educação e consiste na transferência automática de recursos financeiros, através do FNDE, para custear despesas com a manutenção de veículos escolares e com a contratação de serviços terceirizados de transporte escolar. Os recursos transferidos são usados para despesas dos veículos de transporte escolar, como reforma, seguros,

licenciamento, impostos e taxas, combustível e lubrificantes, assim como pagamento de serviços contratados junto a terceiros (FNDE/UFG, 2019).

O Programa Caminho da Escola foi criado em 2007 pela Resolução/FNDE/CD/nº 03 e tem como objetivos renovar e padronizar a frota usada no transporte escolar, garantir segurança e qualidade dos veículos, garantir o acesso e permanência dos alunos nas escolas e reduzir o índice de evasão escolar. O programa é preferencialmente destinado a estudantes residentes em áreas rurais e ribeirinhas e oferece ônibus, lanchas e bicicletas. O Caminho da Escola também apresenta a possibilidade de redução dos custos de aquisição dos veículos necessários ao Transporte Escolar e a participação no programa ocorre através de adesão ao pregão eletrônico para registro de preços realizado pelo próprio FNDE (FNDE/UFG, 2019).

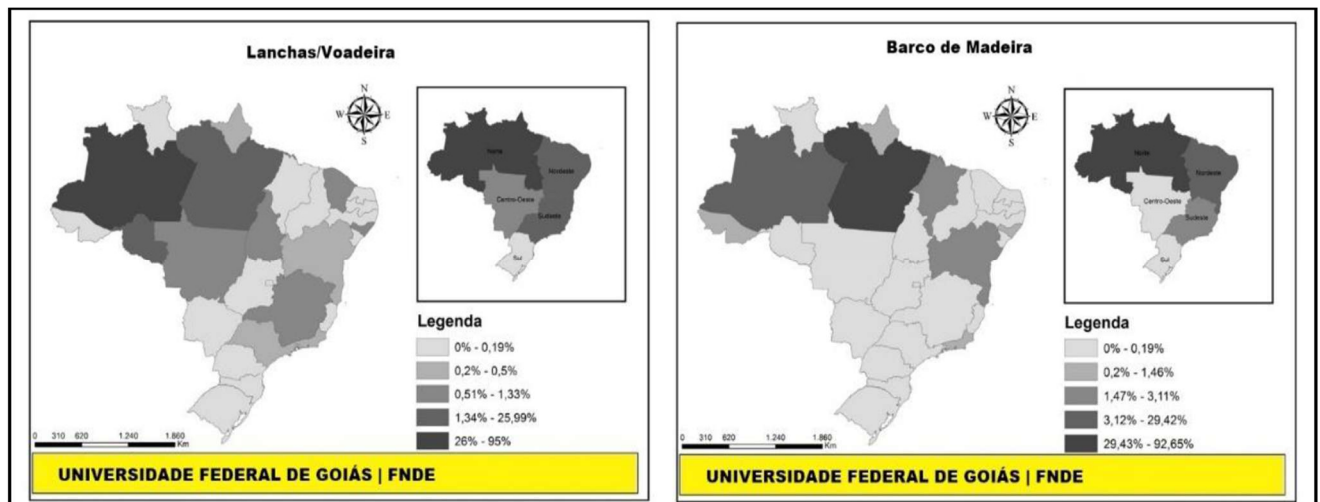
Os sistemas inteligentes de transportes, ou *Intelligent Transportation Systems (ITS)*, são tecnologias que visam a melhoria na gestão do tráfego. Esses sistemas se baseiam fundamentalmente na coleta de dados para otimizar a experiência do usuário, reduzir impactos ambientais causados pelos meios de transporte e promover maior segurança. Alguns exemplos de sistemas inteligentes de transportes incluem gestão de frotas, gestão inteligente de tráfego, carregamento de veículos elétricos e cobrança eletrônica de pedágios (Intel, 2022). Os sistemas inteligentes de transportes podem desempenhar um papel importante em reduzir riscos, acidentes, congestionamentos, emissões de carbono e poluição do ar, além de aumentar a segurança e a confiabilidade, a velocidade de viagem, o fluxo de tráfego e a satisfação dos viajantes em todos os modais. Esses sistemas não se limitam ao tráfego rodoviário, mas também fornecem serviços e implementam sistemas de transporte aéreo, aquaviário e ferroviário (Qureshi e Abdullah, 2013).

No Brasil, um exemplo de uso de dados em sistemas de transportes é o Sistema Transcolar Rural, desenvolvido pelo Laboratório Computacional do Núcleo de Ensino e Pesquisa em Transportes – Nucletrans, do Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia (ETG) da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. O sistema coleta dados dos sistemas de transporte escolar das zonas rurais, tendo como principal objetivo a otimização das rotas e redução de custos (Porto *et al.*, 2018a). A partir da coleta das informações de residência dos alunos, das escolas em que estão matriculados e da malha rodoviária, o Transcolar Rural gera rotas ótimas e o cálculo dos custos das viagens por veículo e por aluno, por município. A plataforma é gratuita e de fácil utilização, dispensando

a necessidade de especialistas em geoprocessamento e engenharia de transportes, além de não ser necessária a instalação de software.

Atualmente, o Transcolar Rural trabalha apenas com a malha rodoviária. Entretanto, alguns alunos necessitam também do transporte fluvial. De acordo com estudo conjunto da Universidade Federal de Goiás (UFG) e do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) a maior parte dos usuários do transporte escolar fluvial estão localizados na região Norte do Brasil (FNDE/UFG, 2018). A Figura 1.1 apresenta alguns dados da cobertura dos beneficiários do transporte escolar aquaviário em 2018.

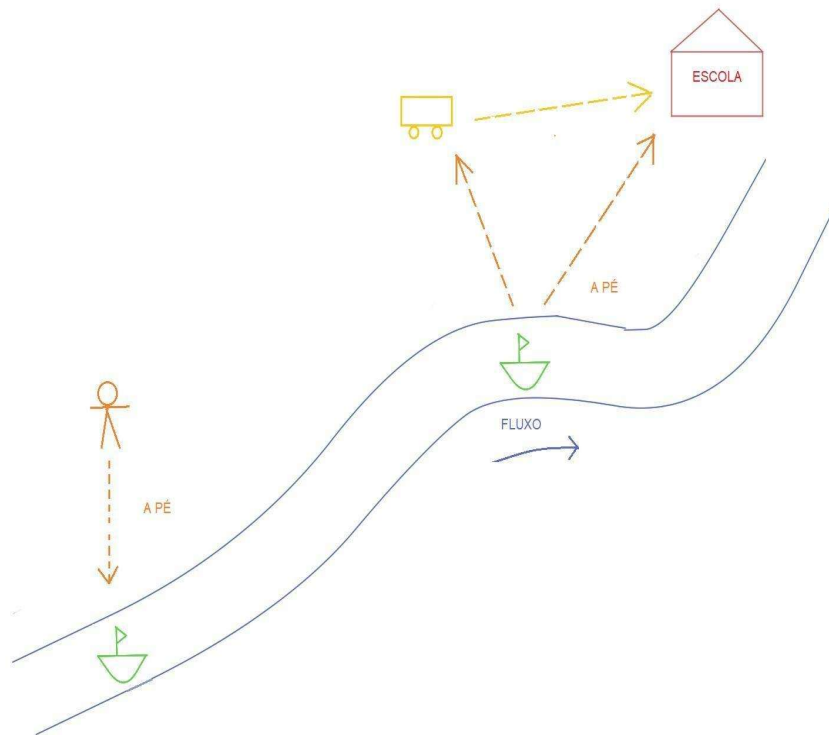
Figura 1.1 – Mapas do percentual médio municipal de alunos do país transportados por lanchas/voadeira e barcos de madeira



Fonte: FNDE/UFG, 2018

A Figura 1.2 mostra o framework do transporte escolar rural, incluindo as rotas por transporte fluvial. Dessa forma, o presente trabalho visa avaliar a aplicabilidade do sistema Transcolar Rural ao sistema de transporte fluvial, calculando os custos desse modo de deslocamento. O município selecionado para o estudo foi Porto Velho, em Rondônia, na região norte do Brasil.

Figura 1.2 – Modelo do Transporte Escolar Rural Fluvial

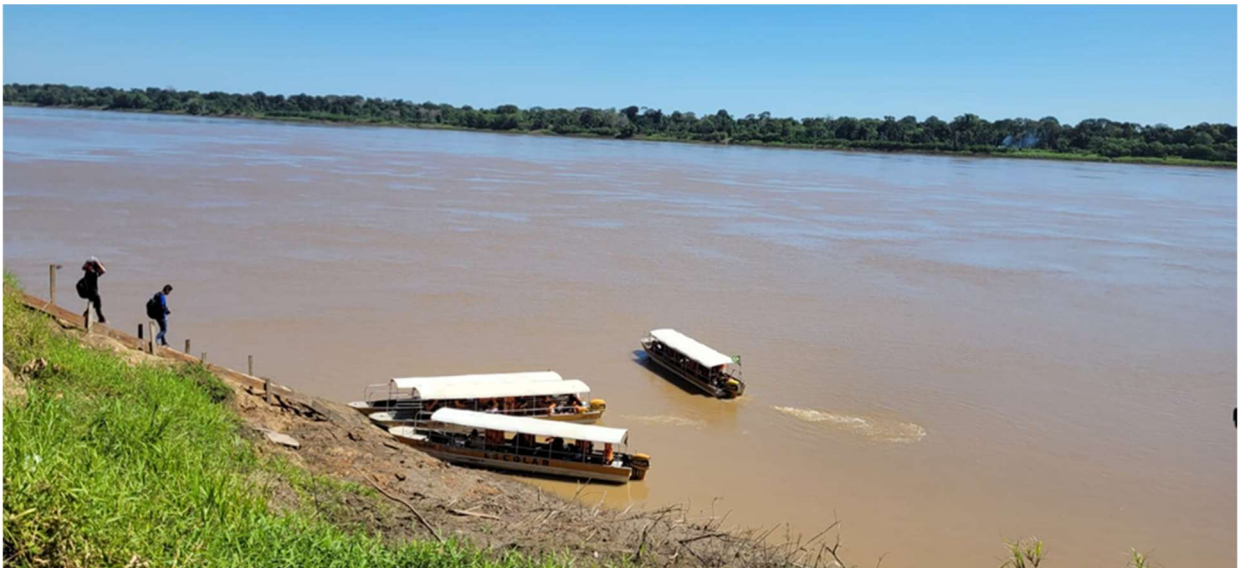


A Figura 1.3 apresenta o embarque de alunos no estado de Rondônia, enquanto a Figura 1.4 apresenta as embarcações de transporte escolar fluvial no mesmo local.

Figura 1.3 – Embarque de alunos em Rondônia



Figura 1.4 – Embarcações de transporte escolar fluvial em Rondônia



1.1 Objetivos do trabalho

O objetivo principal do estudo proposto foi criar um modelo para cálculo de custos para o transporte escolar fluvial através do sistema Transcolar Rural, que será futuramente utilizado na otimização de rotas. Os custos calculados neste estudo serão futuramente utilizados no sistema Transcolar para agrupar rotas similares e reduzir despesas.

Os objetivos específicos do estudo são:

- Identificação dos dados necessários para cálculos dos custos do transporte escolar fluvial no sistema Transcolar Rural;
- Análise dos custos fixos e variáveis presentes no sistema de transporte escolar fluvial;
- Validar o modelo proposto com dados reais do município de Porto Velho, através de questionário com especialistas da região;
- Cálculo de custo das viagens realizadas pelas embarcações nas vias fluviais através do desenvolvimento de algoritmo computacional.

2 REVISÃO DA LITERATURA

O referencial teórico do presente estudo possui quatro pilares principais: transporte escolar fluvial, modelos de custos em transportes, otimização de rotas e machine learning.

O custo do transporte escolar fluvial será futuramente aplicado à otimização de rotas através de machine learning no Sistema Transcolar Rural. Por esse motivo, o presente estudo inclui revisão de literatura relativa a otimização de rotas e machine learning.

As próximas seções apresentam a revisão de literatura de cada um desses tópicos.

2.1 Transporte Escolar Fluvial

Para o desenvolvimento deste estudo, foram analisados trabalhos correlatos sobre transporte escolar fluvial no Brasil. Esses estudos são, em sua maioria, relativos à Região Amazônica, principalmente nos estados do Amazonas e do Pará. Há poucos estudos desenvolvidos para o estado de Rondônia, comprovando a necessidade de melhor análise do transporte escolar fluvial deste território. Também é possível observar que grande parte dos estudos sobre transporte escolar no Brasil não inclui a análise do modo aquaviário, apenas do modo rodoviário.

Em estudo de 2023, o Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) apresentou algumas características do Transporte Escolar Rural Fluvial no Brasil. Conforme o relatório, as vias utilizadas para os trajetos são geralmente os rios, os lagos, os furos (igarapés) e os paranás. Nesses trajetos, foram identificados tempos de deslocamento de ida e volta para a escola que variavam de 9 minutos até 9 horas e 30 minutos. O relatório também apresenta os tipos de motores mais comuns, sendo eles rabeta, popa e de centro; e os tipos de embarcações mais utilizadas, sendo elas casco (montaria), canoa (rabeta), barco (bajara), voadeira e lancha (FNDE, 2023).

Um estudo conjunto do FNDE e da Universidade Federal de Goiás (UFG) revelou que, em 2018, 88% dos municípios brasileiros ofereciam gratuitamente transporte escolar apenas no modo rodoviário, enquanto na região Norte esse número cai para 54%. O percentual de municípios brasileiros que ofereciam gratuitamente o transporte escolar apenas no modo aquaviário é 0,2%, mas o percentual aumenta na região Norte, sendo de 0,9%. O estudo também apresenta o percentual de municípios que oferecem gratuitamente tanto transporte

escolar rodoviário quanto aquaviário: esse valor é de 11% no Brasil e de 45% na região Norte. Esses dados deixam claro a importância do transporte escolar fluvial na região Norte. O mesmo estudo mostra que o transporte escolar aquaviário tem sido realizado por meio de diversas embarcações. Em geral, o maior número de lanchas se encontra concentrado nos municípios dos estados da Bahia e do Pará. Nos demais estados, o transporte escolar fluvial é realizado por barcos e canoas. (FNDE/UFG, 2018).

Tabela 2.1– Oferta de serviços gratuitos de Transporte Escolar rodoviário e aquaviário em 2018 (FNDE/UFG, 2018, adaptado)

País/Região/UF	Percentual de municípios que oferecem gratuitamente Transporte Escolar Rodoviário	Percentual de municípios que oferecem gratuitamente Transporte Escolar Aquaviário	Percentual de municípios que oferecem gratuitamente Transporte Escolar Rodoviário e Aquaviário
Brasil	88,8	0,2	11,0
Região Norte	54,0	0,9	45,0
Rondônia	88,9	0,0	11,1
Acre	50,0	0,0	50,0
Amazonas	6,3	0,0	93,8
Roraima	83,3	0,0	16,7
Pará	38,3	6,4	55,3
Amapá	16,7	0,0	83,3
Tocantins	94,9	0,0	5,1

Anselmo Filho (2021) destaca que, para milhões de alunos, o transporte escolar não é uma opção, mas o único meio para chegar até a escola, garantindo acesso à educação e à inclusão social. De acordo com o autor, o principal modo de locomoção entre as cidades do interior do Amazonas é o transporte fluvial. O estudo também menciona a importância de políticas públicas na manutenção deste modo de transporte, destacando a Constituição Federal, o PNATE e o Programa Caminho da Escola.

Anselmo Filho *et al.* (2020) apresentam as particularidades do transporte escolar aquaviário no estado do Amazonas. O estudo destaca que o rio é a principal via de transporte dos moradores do interior do estado e muitas dificuldades são encontradas no transporte escolar fluvial, dentre elas as longas distâncias entre as cidades e as comunidades tradicionais. Fatores naturais também afetam a região e as diferenças entre as estações seca e chuvosa são significativas: durante o período de cheia, a subida das águas inunda parte das comunidades tradicionais. No período de seca, algumas comunidades ficam isoladas, impossibilitando o acesso às escolas.

Veiga *et al.* (2016), ao estudar o transporte escolar ribeirinho no estado do Pará, explicam que esse tipo de transporte possui particularidades em razão das suas características geográficas e da distribuição dispersa da população. Os autores também explicam que, apesar da existência de regulamentação federal para o transporte fluvial, muitas das normas não são seguidas.

Em um relatório do ano de 2022, a Fundação Amazônia Sustentável (FAS) destaca que na maioria do território amazônico o transporte é exclusivamente fluvial, demandando um grande tempo de deslocamento. A Região Amazônica também é marcada por sua grande extensão territorial e baixa densidade demográfica. Essas características fazem com que a região demande investimentos educacionais mais altos que em outras regiões do país. Além disso, a logística na Região Amazônica demanda grande parcela do recurso disponível para execução de qualquer projeto. O estudo também discorre sobre o impacto dos períodos de seca e cheia no transporte fluvial, ressaltando que as secas têm sido mais intensas devido às mudanças climáticas (Fundação Amazonas Sustentável, 2022).

Fernandes e Fernandes (2016) apontam que, em muitas localidades na Região Amazônica, barcos comuns são alugados para realizar o transporte escolar, gerando condições desfavoráveis de conforto, segurança e velocidade. Pacha (2018) expõe que muitas normas impostas para o transporte escolar não são cumpridas na maioria das embarcações: há pilotos que não possuem habilitação, não há condições seguras de embarque e desembarque e nem horários regulares. Também faltam condições básicas de segurança, como coletes salva-vidas e proteção para o eixo dos motores.

Souza (2019) estudou o transporte escolar na região Norte. Assim como os demais estudos citados, o referido estudo destaca o processo de cheia dos rios, que pode facilitar as circunstâncias de acesso do aluno à escola. Da mesma forma, o período de seca pode provocar o isolamento das comunidades.

Martins e Silva (2019) analisam a qualidade do transporte escolar realizado por lanchas na Região Amazônica. Foi observado que o transporte escolar realizado por lanchas escolares promove conforto, segurança, confiabilidade e dignidade aos passageiros, além de contribuir para o planejamento das atividades escolares dos professores. As lanchas são necessárias para os transportes dos alunos, visto que muitos são de baixa renda, sem condições suficientes para arcar com as despesas dos transportes durante todo o período letivo.

Egami *et al.* (2006) apresentaram um panorama das políticas públicas do transporte escolar rural. O estudo define transporte escolar como “transporte de estudantes de determinado ponto de origem, geralmente próximo de sua residência, à escola em que está matriculado e, também, no sentido inverso (da escola para o ponto de origem de sua viagem)”, frisando a necessidade desse tipo de transporte nas zonas rurais, para que o acesso à educação seja garantido. Os autores também apresentam dados da diminuição do número de escolas nas zonas rurais, o que faz com que muitos alunos dessas regiões tenham que se deslocar para a área urbana. Esses dados mostram como o transporte escolar rural é imperativo para o acesso às escolas.

Queiroz (2019) analisou o transporte fluvial de passageiros realizado por lanchas no Rio Solimões. É observado que o principal acesso às cidades do interior do estado do Amazonas é realizado através de sua rede fluvial (Queiroz, 2019).

Medeiros (2012) destaca a importância do transporte fluvial para a garantia de condições de vida dignas para moradores do Estado do Amazonas, devido às características naturais do local, que favorecem o deslocamento por vias fluviais. Dessa forma, o transporte fluvial garante serviços essenciais, como saúde, educação e abastecimento de alimentos.

Além do transporte fluvial, os estudos acerca do Transporte Escolar Rural no Brasil incluem diversos tópicos, como custos, políticas públicas, rendimento escolar, frota e tempo de viagem.

Um dos referenciais mencionados na maioria das pesquisas é o já extinto Grupo Executivo para Integração de Políticas de Transportes (GEIPOT). Em 1999, o GEIPOT realizou um estudo sobre o transporte escolar rural no Brasil, apresentando os aspectos mais relevantes do tema (GEIPOT, 1999). Destaca-se a inevitabilidade da oferta do Transporte Escolar Rural para que os estudantes de áreas rurais tenham as mesmas oportunidades de ensino que os estudantes de áreas urbanas. O GEIPOT também destaca a necessidade da gratuidade do TER, visto que a constituição define a educação como dever do Estado, o que tornaria inconstitucional a cobrança por transporte.

Em 2018, um estudo desenvolvido pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) indicava que 98% dos municípios brasileiros possuíam convênio para ofertar transporte escolar rural. Desses, 3,3% transportavam alunos de municípios vizinhos, 81,9% de escolas estaduais e 9,4% dos municípios transportavam alunos de escolas federais (FNDE, 2018). O mesmo estudo indicava que um número considerável de estudantes se deslocava à escola a pé ou recorrendo a bicicletas.

Já os estudos do Transcolar datam desde o início da sua criação, em 2012 (Porto *et al.*, 2018b). A plataforma conta hoje com um extenso banco de dados que foi utilizado para o desenvolvimento deste estudo.

2.2 Modelo de Custos e Preços

O cálculo de custos é parte essencial do transporte escolar e a maior parte dos estudos sobre o assunto inclui apenas estudos sobre transporte escolar rodoviário, não abordando o transporte escolar fluvial.

Em 1996, o GEIPOT publicou um manual para cálculo de tarifas de ônibus urbanos que foi utilizado em muitos estudos subsequentes de transporte escolar. Para cálculo da tarifa, o GEIPOT utiliza três dados principais: número de passageiros transportados, quilometragem percorrida e custo quilométrico. O custo quilométrico corresponde à soma dos custos variáveis com os custos fixos. Os custos variáveis são despesas operacionais que mantêm relação direta com a quilometragem percorrida e incluem combustível, lubrificantes, rodagem, peças e acessórios. Os custos fixos não dependem da quantidade de quilômetros rodados pelo equipamento de transporte no período considerado e incluem custos de capital, despesas com pessoal e despesas administrativas. O custo total do serviço é o custo quilométrico acrescido dos tributos cobrados na localidade (GEIPOT, 1996).

O Tribunal de Contas do Estado de Pernambuco (TCE-PE) desenvolveu o Manual do Transporte Escolar, onde também é apresentada uma metodologia baseada em custos fixos e variáveis. Os custos fixos incluem mão de obra, depreciação operacional, remuneração de capital imobilizado, licenciamento, taxas e seguro e custos fixos complementares, que são as exigências extras, sejam elas legais e/ou contratuais. Já os custos variáveis incluem consumo de pneus, consumo de combustível, peças e acessórios, lubrificação e limpeza veicular. Por fim, para composição do preço final do serviço, o TCE-PE cita a incidência do BDI, bonificações e despesas indiretas (Tribunal de Contas de Pernambuco, 2021).

O Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) também apresenta a definição do custo no transporte escolar como a mesma dada nas teorias clássicas da economia, dividindo em custos fixo e variável. O FNDE destaca que existem diferenças na composição desses custos quando comparamos os custos no modo rodoviário com o fluvial. A Tabela 2.2 mostra as diferenças entre esses dois modos (FNDE, 2019a).

Tabela 2.2 – Custos fixos e variáveis nos diferentes modos de transporte (FNDE, 2019a)

Modo Rodoviário		Modo Aquaviário	
Custos Fixos	Custos Variáveis	Custos Fixos	Custos Variáveis
Depreciação	Combustível	Depreciação	Combustível

Remuneração do Capital	Lubrificantes	Remuneração do Capital	Lubrificantes
Custos com Pessoal	Rodagem	Custos com Pessoal	
Custos Administrativos	Peças e Acessórios	Custos Administrativos	
Seguros		Seguros	
		Manutenção e Reparos	

O mesmo estudo do FNDE destaca que, para o transporte rodoviário, o valor da quilometragem dos veículos é essencial para o cálculo dos custos variáveis, enquanto no transporte fluvial o cálculo é baseado nas horas de operação dos veículos (FNDE, 2019a).

Calheiros (2010) explica que custos fixos independem do nível de produção, enquanto custos variáveis variam com a produção. No transporte fluvial, isso significa que os custos fixos não se alteram em função da quilometragem percorrida, ou seja, os gastos ocorrem mesmo quando as embarcações não estão operando. O custo variável mantém relação direta com o percurso percorrido, ou seja, sua incidência só ocorre quando o veículo transportador está em operação.

Pacha (2018) desenvolveu uma metodologia para cálculo do custo por assento em lanchas de transporte escolar aquaviário rural. A composição de custos nessa metodologia também é formada por custos fixos e variáveis. Os custos fixos incluem recuperação de capital, depreciação, seguros e salários de tripulantes. Os custos variáveis incluem combustível, óleos lubrificantes, manutenção e reparo. O estudo também considera a necessidade de uma frota reserva, que possui custos de depreciação e recuperação de capital.

Carvalho e Yamashita (2015) desenvolveram uma pesquisa de âmbito nacional, coletando dados que subsidiam o cálculo do custo do transporte escolar fluvial em 451 municípios brasileiros. O estudo considera como custos fixos do transporte escolar fluvial custo de depreciação, custo de remuneração do capital investido nas embarcações, custo com seguro,

custo com salários e custos de manutenção e reparos. Já os custos variáveis são combustíveis e lubrificantes. Em todos os estados pesquisados para o estudo, o custo fixo representava mais de 96% do custo total do transporte escolar fluvial. O estudo também destaca que o custo com pessoal corresponde a mais de 71% do custo total.

2.3 Otimização de rotas

Para a revisão de literatura sobre otimização de rotas, foram analisados trabalhos que incluem o *Vehicle Routing Problem* (VRP) ou o *School Bus Routing Problem* (SBRP).

O SBRP busca selecionar o grupo de paradas de ônibus, determinar para qual parada cada estudante deve ir e determinar rotas que visitem essas paradas, de modo a minimizar a distância total percorrida. Ele é uma das primeiras aplicações do *Travelling Salesman Problem* (TSP) ou problema do caixeiro viajante. Contudo, em sua aplicação original, a seleção de paradas não faz parte do problema. (Schittekat *et al.*, 2013). O SBRP é muito semelhante ao VRP, que busca gerar rotas eficientes para uma frota de veículos entregar (ou coletar) produtos dos depósitos a um conjunto de clientes (Park e Kim, 2010).

O SBRP é um problema de pesquisa operacional que tem sido estudado por pesquisadores há quase 50 anos. As publicações do SBRP abordam um ou mais subproblemas operacionais, incluindo: seleção de pontos de ônibus, geração de rotas de ônibus, programação de rotas de ônibus, ajuste do horário dos sinais escolares e questões estratégicas de política de transporte (Ellegood *et al.*, 2020).

Park e Kim (2010) cita a seleção de pontos de ônibus como um dos subproblemas mais importantes do SBRP, mas destaca que, em áreas rurais, os ônibus escolares buscam os alunos em casa. Portanto, esse subproblema não é abordado em casos de transporte escolar rural.

Usualmente, os problemas de seleção de pontos de ônibus e geração de rotas são resolvidos em conjunto, havendo três abordagens principais: localização-alocação-roteamento (LAR), alocação-roteamento-localização (ARL) e localização-roteamento-alocação (LRA). A abordagem LAR primeiro localiza os pontos de ônibus e, em seguida, atribui os alunos aos pontos para criar a demanda para a geração de rotas de ônibus. A abordagem ARL agrupa os alunos com base na capacidade de um ônibus, seleciona os pontos de ônibus dentro dos grupos e, finalmente, desenvolve uma rota através dos pontos de ônibus. Por fim, a

abordagem LRA identifica o conjunto de pontos de ônibus viáveis para cada aluno, desenvolve rotas para minimizar a distância total de viagem considerando apenas os locais viáveis de pontos de ônibus e distribui os alunos aos locais de pontos de ônibus selecionados (Ellegood *et al.*, 2020).

Sciortino *et al.* (2022) apresentam um algoritmo para rotas de ônibus escolar que permite frotas heterogêneas e seleção de pontos de ônibus. O estudo incorpora recursos como elegibilidade, distâncias máximas de caminhada, seleção de pontos de ônibus, tempos máximos de viagem, diferentes tipos de ônibus, paradas múltiplas e tempos de permanência dos ônibus. Os autores empregam a abordagem LAR, selecionando os pontos de ônibus, atribuindo os alunos às paradas e, em seguida, gerando a rota. Foi utilizado o parâmetro m_w para indicar a distância máxima que se espera que os alunos caminhem até um ponto de ônibus e o parâmetro m_e para especificar a distância mínima a pé que os alunos devem viver da escola para serem elegíveis ao transporte escolar.

Xue *et al.* (2023) avaliam o SBRP na cidade de Winchester, nos Estados Unidos, com quatro objetivos específicos: minimizar o número de rotas percorridas, minimizar a distância total percorrida pelos ônibus, não exceder a capacidade máxima em nenhum ônibus e não exceder o tempo máximo de viagem permitido. Os autores utilizam meta-heurística para abordar o SBRP e concluem que o algoritmo mais adequado é *Cluster-First-Route-Second* (CFRS), que é uma abordagem heurística eficaz para resolver VRP e suas variantes. O CFRS decompõe o VRP em subproblemas menores formando clusters que são compatíveis com a capacidade do veículo e produzem uma solução do problema do caixeiro viajante para cada cluster. No caso estudado, cada cluster é um ônibus escolar. Esses clusters são gerados a partir do algoritmo *Sweep Nearest*, uma variação do algoritmo *Nearest Neighbor*, que será apresentado na Seção 2.4.

2.4 Machine Learning

Machine Learning é uma área da Inteligência Artificial (IA), que é a teoria e o desenvolvimento de sistemas computacionais capazes de executar tarefas que normalmente requerem inteligência humana, como raciocínio, percepção visual, reconhecimento de fala, aprendizado e programação automatizados, tomada de decisão e tradução entre idiomas (Tselentis *et al.*, 2023).

Machine Learning (ML) ou aprendizado de máquina descreve a capacidade dos sistemas de aprender com dados de treinamento específicos do problema para automatizar o processo de construção de modelos analíticos e resolver tarefas associadas (Janiesch *et al.*, 2021).

Segundo Bonaccorso (2017), existem três tipos de Machine Learning: supervisionado, não supervisionado e por reforço. No Machine Learning supervisionado, o algoritmo é treinado em um conjunto de dados que contém exemplos rotulados, que são pares de entrada (input) e saída (output) esperada. O objetivo é que o algoritmo aprenda a mapear as entradas para as saídas corretas, para que ele possa fazer classificações e previsões quando for apresentado a novos dados. Os dois principais problemas que podem ser abordados com Machine Learning supervisionado são regressão e classificação. A regressão apresenta valores contínuos de saída, enquanto a classificação permite um número discreto de possíveis outputs, chamados de categorias. Algumas aplicações de Machine Learning supervisionado são: análise preditiva, detecção de spam, detecção de padrão, processamento de linguagem natural, análise de sentimentos, classificação automática de imagens e processamento automático de sequência.

O Machine Learning não supervisionado não requer dados rotulados durante o processo de treinamento. Essa abordagem é útil quando é necessário aprender como um conjunto de elementos pode ser agrupado de acordo com sua similaridade (Bonaccorso, 2017). Os dados de treinamento consistem apenas em variáveis x visando encontrar informações estruturais de interesse, como grupos de elementos que compartilham propriedades comuns (processo conhecido como clustering) ou representações de dados projetadas de um espaço de alta dimensão para um menor (processo conhecido como redução de dimensionalidade) (Janiesch *et al.*, 2021). As aplicações de Machine Learning não supervisionado incluem segmentação de objetos, detecção de similaridades e rotulagem automática (Bonaccorso, 2017).

Machine Learning por reforço consiste em descrever o estado atual do sistema, especificar uma meta, fornecer uma lista de ações permitidas e as restrições para seus resultados e deixar o modelo de ML alcançar o objetivo por si só usando o princípio de tentativa e erro para maximizar uma recompensa (Janiesch *et al.*, 2021). O aprendizado por reforço é particularmente eficiente quando o ambiente não é completamente determinístico, quando é muito dinâmico e quando é impossível ter uma medida de erro precisa (Bonaccorso, 2017).

No ramo de Engenharia de Transportes, a Inteligência Artificial e o Aprendizado de Máquina são utilizados nos Sistemas Inteligentes de Transportes. Esses sistemas utilizam tecnologias avançadas para melhorar a eficiência, a segurança e a sustentabilidade dos meios de transporte.

A descoberta de padrões dentro de um universo extenso de informação, de atualização constante, é relevante e importante. O Brasil possui mais de 5500 municípios, com mais de 70 parâmetros de preços e custos, com cada município realizando ao menos 10 estudos para escolher uma proposta para licitação ou gestão de custos de frota própria. Para garantir que nenhum desses parâmetros esteja fora de um padrão que é regional e a partir dos preços e custos locais, um modelo de Machine Learning pode verificar constantemente os padrões e a consistência dos dados no banco de dados e nos estudos gerados, identificando *outliers* imediatamente e invalidando estudos com valores fora do padrão que poderiam onerar o serviço público.

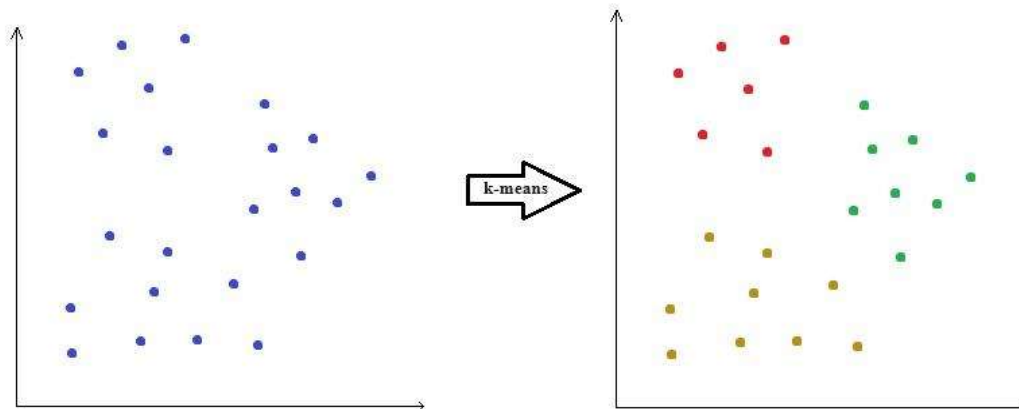
De acordo com Sadek (2007), os problemas referentes aos sistemas de transporte podem ser abordados com o uso de inteligência artificial porque usualmente envolvem tanto dados quantitativos quanto dados qualitativos. Além disso, alguns sistemas de transporte não podem ser modelados com abordagens tradicionais, seja porque as interações entre os diferentes componentes do sistema não são totalmente compreendidas ou porque se está lidando com muita incerteza decorrente do componente humano do sistema. É necessário, portanto, a construção de modelos empíricos, com base nos dados observados. O autor também menciona que os problemas de transporte levam geralmente a problemas de otimização desafiadores cuja resolução usando técnicas tradicionais de programação matemática é difícil, seja porque as relações são difíceis de especificar analiticamente ou devido ao tamanho do problema e sua intratabilidade computacional.

Durante o estudo de transporte fluvial realizado com Machine Learning, observou-se que algumas técnicas foram mais utilizadas: k-means, DBSCAN, Nearest Neighbor e Redes Neurais Artificiais.

O algoritmo k-means é amplamente utilizado para solucionar problemas de clusterização e se trata de um algoritmo não supervisionado. O procedimento classifica um determinado conjunto de dados mediante um certo número de clusters, definindo um valor k de centros, um

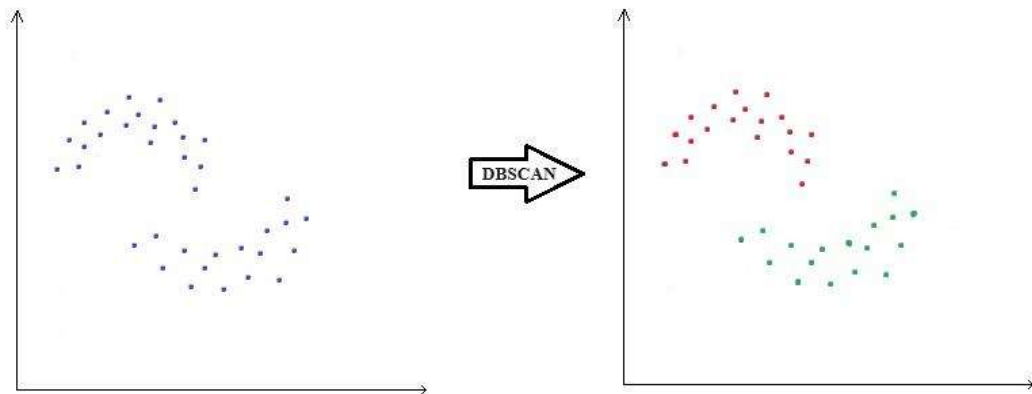
para cada cluster. Cada centro deve ser colocado o mais longe possível um do outro e cada ponto pertencente a um determinado conjunto de dados deve ser associado ao centro mais próximo (Mahesh, 2020). A Figura 2.1 apresenta um conjunto de pontos que foi clusterizado através do algoritmo k-means, com $k=3$.

Figura 2.1 – Algoritmo k-means



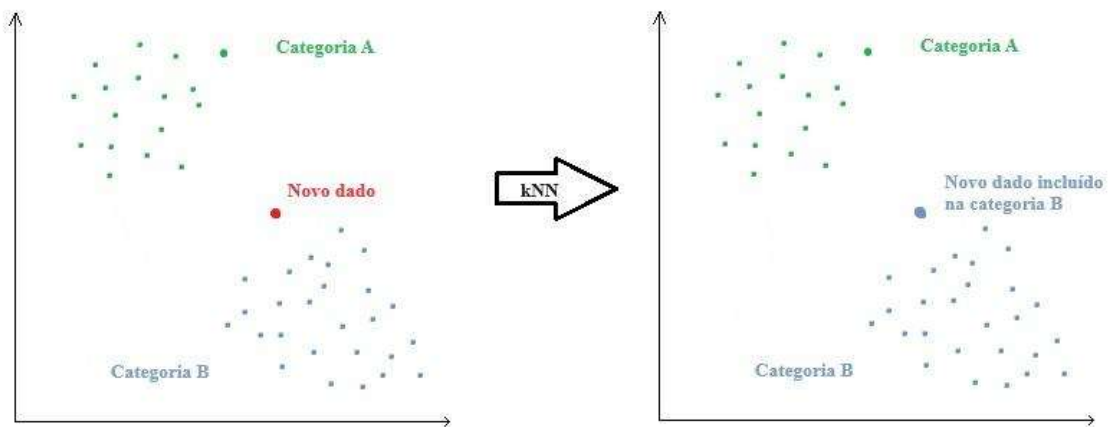
O DBSCAN é um algoritmo que pode ser utilizado para resolver problemas complexos de clusterização quando o k-means não consegue resolvê-los (Bonaccorso, 2017). Enquanto o k-means é um algoritmo de agrupamento baseado em centroide ou partição, o DBSCAN é baseado em densidade. Algoritmos baseados em densidade consideram os clusters como áreas densas de objetos separados por áreas menos densas. Esses algoritmos apresentam uma vantagem sobre os algoritmos baseados em partição porque não estão limitados a encontrar clusters de formato esférico (Erman, 2006). A Figura 2.2 apresenta um grupo de pontos que foi clusterizado através do algoritmo DBSCAN.

Figura 2.2 – Algoritmo DBSCAN



O algoritmo K-Nearest Neighbors (KNN) é um algoritmo supervisionado de Machine Learning que pode ser utilizado para resolver problemas de classificação e regressão. Apresenta fácil implementação e entendimento, mas tem a grande desvantagem de se tornar significativamente mais lento à medida que o tamanho dos dados em uso aumenta (Mahesh, 2020). A Figura 2.3 apresenta um dado classificado utilizando o algoritmo kNN.

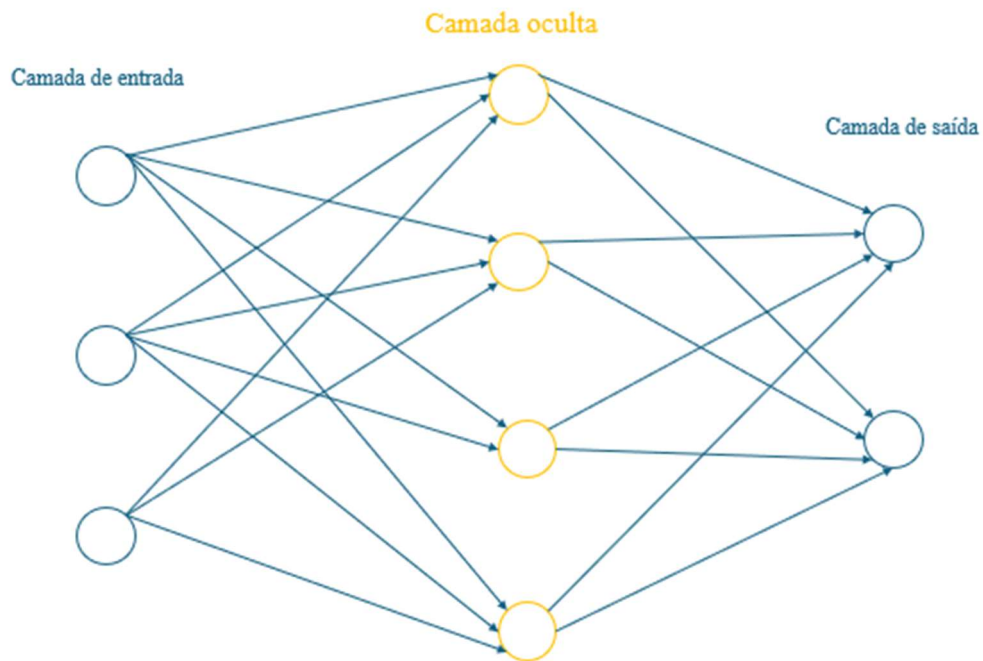
Figura 2.3 – Algoritmo k-Nearest Neighbors



Redes Neurais Artificiais (ANN) são formadas por uma série de algoritmos que se esforçam para reconhecer relações em um conjunto de dados por meio de um processo que imita como o cérebro humano funciona (Mahesh, 2020). Elas conectam uma camada de entrada a uma de

saída (Bonaccorso, 2017). Redes neurais podem utilizar algoritmos supervisionados, não supervisionados ou por reforço. Na rede neural supervisionada, o dado de saída correspondente ao dado de entrada já é conhecido. A saída prevista da rede neural é comparada com a saída real e, com base no erro, os parâmetros são alterados e inseridos novamente na rede neural. A rede neural não supervisionada não tem nenhuma pista prévia sobre a saída e a principal função da rede é categorizar os dados de acordo com suas semelhanças. A rede neural verifica a correlação entre várias entradas e as agrupa. Por fim, a rede neural de aprendizagem por reforço utiliza algoritmos orientados a objetivos, que aprendem como atingir um objetivo ao longo de uma dimensão específica ao longo de muitas etapas (Mahesh, 2020). A Figura 2.4 apresenta o processamento através das Redes Neurais Artificiais.

Figura 2.4 – Redes Neurais Artificiais



Gan *et al.* (2016) usam técnicas de Machine Learning para prever trajetórias de embarcações no Rio Yangtze, localizado na China. As trajetórias históricas são primeiramente divididas em grupos menores através do algoritmo k-means, com base no comprimento total percorrido pelas embarcações. Os autores explicam que embarcações que vão contra o sentido do fluxo das águas podem não conseguir escolher o caminho mais curto para passar pelas vias navegáveis, precisando fazer várias curvas nas áreas de hidrovias controladas para encontrar

caminhos relativamente tranquilos e curtos. Caso contrário, essas embarcações podem ficar presas, especialmente quando estão totalmente carregadas. Dessa forma, as diferentes trajetórias podem ser agrupadas em pequenos grupos com base nas suas semelhanças e as trajetórias dentro do mesmo cluster têm comprimento semelhante. Em seguida, os modelos de Rede Neural Artificial (ANN) são construídos usando os resultados do agrupamento e outros fatores conhecidos, como velocidade do navio, capacidade de carga, peso próprio, potência máxima e nível de água. Três modelos ANN foram construídos para prever quais embarcações escolheriam passar pela área de espera superior, pela hidrovía controlada e pela área de espera inferior, respectivamente. Os resultados indicaram que o modelo construído poderia prever o agrupamento das trajetórias nessas três áreas com precisão de 78,6%, 71,4% e 74,9% respectivamente.

Ramirez-Villamil *et al.* (2023) apresentam um modelo de logística via transporte fluvial. Os autores utilizam 2D-k-means como algoritmo de clusterização para alocar os pontos de entrega antes da otimização de rotas. Considera-se a latitude e a longitude da localização geográfica de cada cliente, visto que a clusterização k-means é feita com base na distância euclidiana bidimensional. Os resultados dessa clusterização são usados para construir a solução inicial para a otimização de rotas. A otimização é realizada por um algoritmo baseado na pesquisa NN (Nearest Neighbor ou Vizinho Mais Próximo). A solução foi gerada em Python.

Yuan *et al.* (2021) propõem um novo método para modelagem de velocidade de embarcações. Primeiramente, um algoritmo de Machine Learning não supervisionado, o DBSCAN, é usado para realizar análises de clusterização em dados ambientais e os resultados são quantificados em informações específicas do segmento de viagem. Posteriormente, uma Rede Neural Artificial (ANN), a GRNN, é adaptada para construir um modelo de velocidade de embarcações de alta precisão. Em seguida, os dados medidos, dados ambientais e informações de segmento, são aprendidos no treinamento dos modelos para desenvolver os parâmetros ideais do modelo.

3 METODOLOGIA PROPOSTA

O método de pesquisa utilizado nesse estudo será o Action Design Science Research (ADSR), que se trata de um método baseado no Action Design Research (ADR). A metodologia ADR foi proposta por Sein *et al.* como um método para combinar as atividades de Action Research (AR) e Design Science Research (DSR) (Mullarkey e Hevner, 2019).

Action Research (AR) é uma metodologia que combina a busca por soluções imediatas para um problema e o desenvolvimento de conhecimento científico, sendo baseada em ações práticas (Baskerville, 1999).

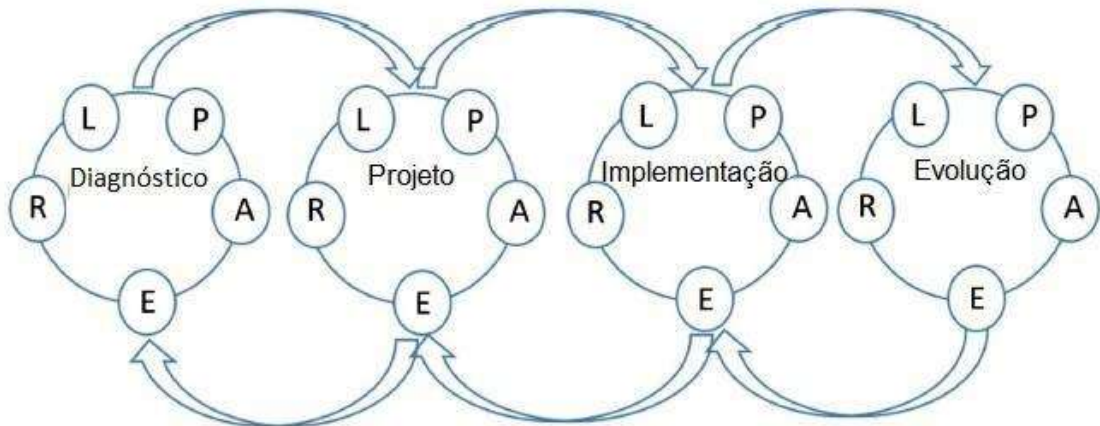
Design Science Research (DSR) é a concepção de artefatos para um domínio específico. Análises quantitativas são realizadas nesses artefatos, seguidas de análises empíricas e qualitativas em um determinado contexto organizacional (Hevner *et al.*, 2004).

Dessa forma, o método original de Action Design Research (ADR) aplica o método AR a um estudo DSR, envolvendo quatro etapas: 1) formulação do problema, 2) metodologia BIE (building, intervention and evaluation), 3) reflexão e aprendizado e 4) elaboração do aprendizado (Mullarkey e Hevner, 2019).

Mullarkey e Hevner (2019) propõem o modelo Action Design Science Research (ADSR), que é baseado em ADR e possui foco em desenvolvimento de artefatos. Com base na metodologia original, os autores identificaram quatro tipos diferentes de ciclos ADR para diagnóstico, projeto, implementação e evolução. Cada ciclo apresenta atividades de formulação de problemas (P), desenvolvimento de artefatos (A), avaliação (E), reflexão (R) e aprendizado (L). O diferencial do modelo de Hevner e Mullarkey é tornar explícito o artefato construído e avaliado em cada ciclo.

Dessa forma, esse estudo irá utilizar o modelo de Mullarkey e Hevner (2019), conforme apresentado na Figura 3.1. Será desenvolvido um artefato utilizando a metodologia ADSR, com o objetivo de calcular os custos do transporte escolar fluvial.

Figura 3.1 – Mullarkey e Hevner (2019)



3.1 Diagnóstico

A etapa de Diagnóstico visa analisar a importância do domínio do problema e a relevância de uma solução de informática para pesquisa e prática (Mullarkey e Hevner, 2019). Nesse estudo, o Diagnóstico foi concretizado com a revisão de literatura pertinente ao tema abordado, sendo os pilares de conhecimento necessários para a abordagem do problema.

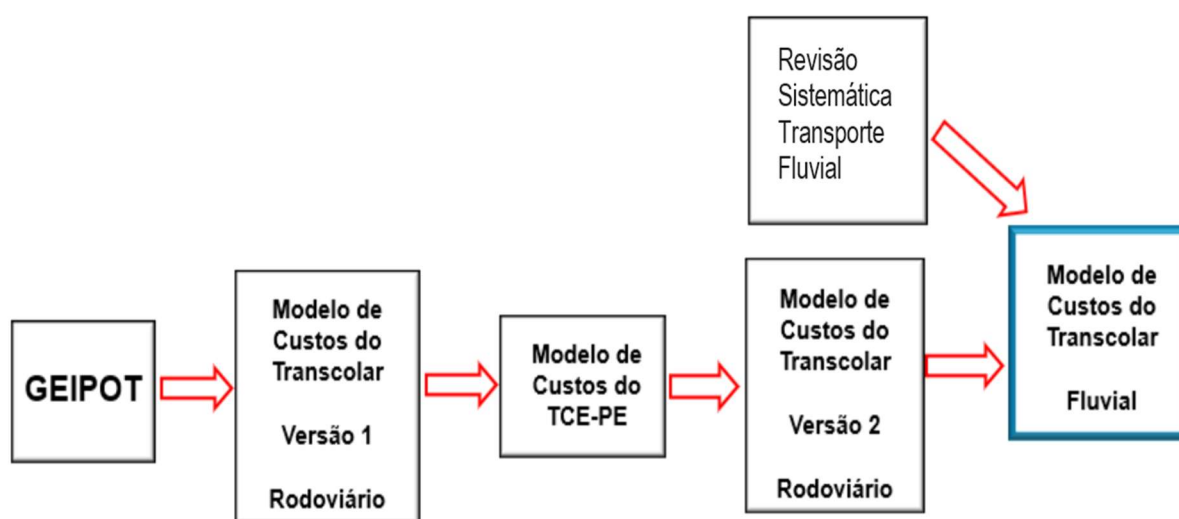
3.2 Projeto

A etapa de Projeto visa desenvolver princípios de design que abordam a classe de problema identificada por meio do diagnóstico e avançam para a implementação de uma solução de TI (Tecnologia da Informação), por meio de um ou mais ciclos iterativos (Mullarkey e Hevner, 2019). Nesse estudo, a etapa de Projeto incluiu o desenvolvimento do método de cálculo de custos a ser representado em um código computacional. Portanto, o artefato dessa etapa é o projeto dos códigos de custos do transporte escolar fluvial.

O modelo de custos do sistema Transcolar Rural foi inicialmente baseado no modelo GEIPOT. Essa primeira versão, chamada de Versão 1 na Figura 3.2, foi inicialmente utilizada nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo e incluía apenas transporte rodoviário. O Tribunal de Contas do Estado de Pernambuco (TCE-PE) realizou uma revisão desse modelo, adicionando outros parâmetros. A partir do modelo de custos do TCE-PE, foi desenvolvida a Versão 2 do modelo de custos do sistema Transcolar Rural. Nessa versão, o código foi

alterado para se tornar mais flexível. Dessa forma, quando houvesse necessidade de alteração em algum dos parâmetros, não seria necessário alterar o código fonte. A Versão 2 trata apenas do transporte rodoviário.

Figura 3.2 – Fluxograma dos Modelos de Custos Utilizados no Sistema Transcolar Rural Para Transporte Escolar Fluvial



Para o desenvolvimento do modelo de custos do sistema Transcolar com inclusão do transporte fluvial, a Versão 2 foi utilizada como base. Além dessa versão, foi agregado o resultado de uma revisão sistemática de artigos científicos que tratam do transporte escolar fluvial, que serão utilizados na adequação dos parâmetros de custos. Portanto, o modelo de custos do transporte escolar fluvial é uma adaptação do modelo atual que inclui parâmetros provenientes da literatura e experiências prática adquiridas no projeto Transcolar Rural.

Os cálculos dos custos do projeto Transcolar Rural são divididos em três etapas principais: (i) geolocalização e mapeamento, (ii) otimização de rotas e (iii) cálculo de custos de rotas. A partir da geolocalização dos alunos e das escolas, o sistema utiliza algoritmos na fase de clusterização para agrupar os alunos e reduzir o problema inicial, de acordo com as técnicas apresentadas na seção 2.4 da revisão de literatura do presente trabalho. Após a otimização das rotas, calcula-se o custo de cada rota gerada. O cálculo de custos é realizado através de três categorias de parâmetros: parâmetros municipais, parâmetros estaduais e tipo de veículo. Esses parâmetros podem ser adicionados, editados e deletados por gestores municipais e

estaduais na plataforma Transcolar e são carregados diretamente no software de cálculo de custos em linguagem C#. Devido à possibilidade de vários municípios alterarem os parâmetros, há chance de erro humano e os resultados ficarem comprometidos. Considerando a quantidade de cidades cadastradas, não seria viável analisar os resultados manualmente, portanto, o sistema inclui também uma ferramenta de análise dos resultados de custos.

Atualmente, o sistema Transcolar Rural não utiliza Machine Learning, somente processos clássicos de otimização. Conforme mencionado, o sistema utiliza algoritmos genéticos na fase de clusterização para agrupar os alunos. O Machine Learning será usado futuramente para otimização de rotas e os custos calculados nesse estudo servirão como *input* para algoritmos de Machine Learning, como o k-means, no Transcolar, com o objetivo de agrupar rotas similares e reduzir despesas. Nesse estudo não foi realizada a otimização de rotas, mas o custo é a função objetivo e é utilizada dentro do processo de otimização.

3.3 Implementação

A etapa de Implementação abordou o desenvolvimento e a execução dos códigos computacionais, que são os artefatos dessa etapa. O código para cálculo dos custos de cada viagem por aluno foi desenvolvido na linguagem C#. A linguagem C# foi escolhida por ser o padrão do Sistema Transcolar e assim permitir a integração desse novo módulo no sistema, além de garantir que a equipe de manutenção tenha as mesmas competências requeridas para o sistema principal.

Os códigos desenvolvidos foram integrados ao sistema Transcolar Rural. Para cada viagem fluvial cadastrada pelo gestor municipal pela interface do sistema, esse módulo de custos buscará todos os parâmetros de custos, preços e viagem no banco de dados do sistema, sumará as quilometragens das viagens realizadas por uma mesma embarcação para então submeter ao programa de custos fluvial para realização dos cálculos. Os resultados serão armazenados por viagem, distribuindo os valores proporcionalmente à quilometragem de cada viagem, se mais de uma viagem tiver sido realizada pela mesma embarcação.

3.4 Evolução

Por fim, a etapa de Evolução abordou a análise dos resultados e a validação por especialistas.

Foram gerados estudos de custos a partir do programa computacional concebido e os resultados foram comparados, para conferência, com os resultados calculados utilizando uma planilha eletrônica com a formulação implementada. Os resultados gerados automaticamente pelo Transcolar, com grande volume de dados de viagens, foram apresentados aos especialistas. O primeiro grupo de especialistas foram os professores e engenheiros vinculados à equipe do Transcolar Rural que realizaram a primeira avaliação dos resultados gerados pelo código. Após os ajustes e correções apontados, com a validação da equipe interna, os novos resultados gerados foram apresentados aos especialistas gestores do Transporte Escolar, incluindo fluvial, do município onde foi aplicado o estudo de caso.

4 ESTUDO DE CASO

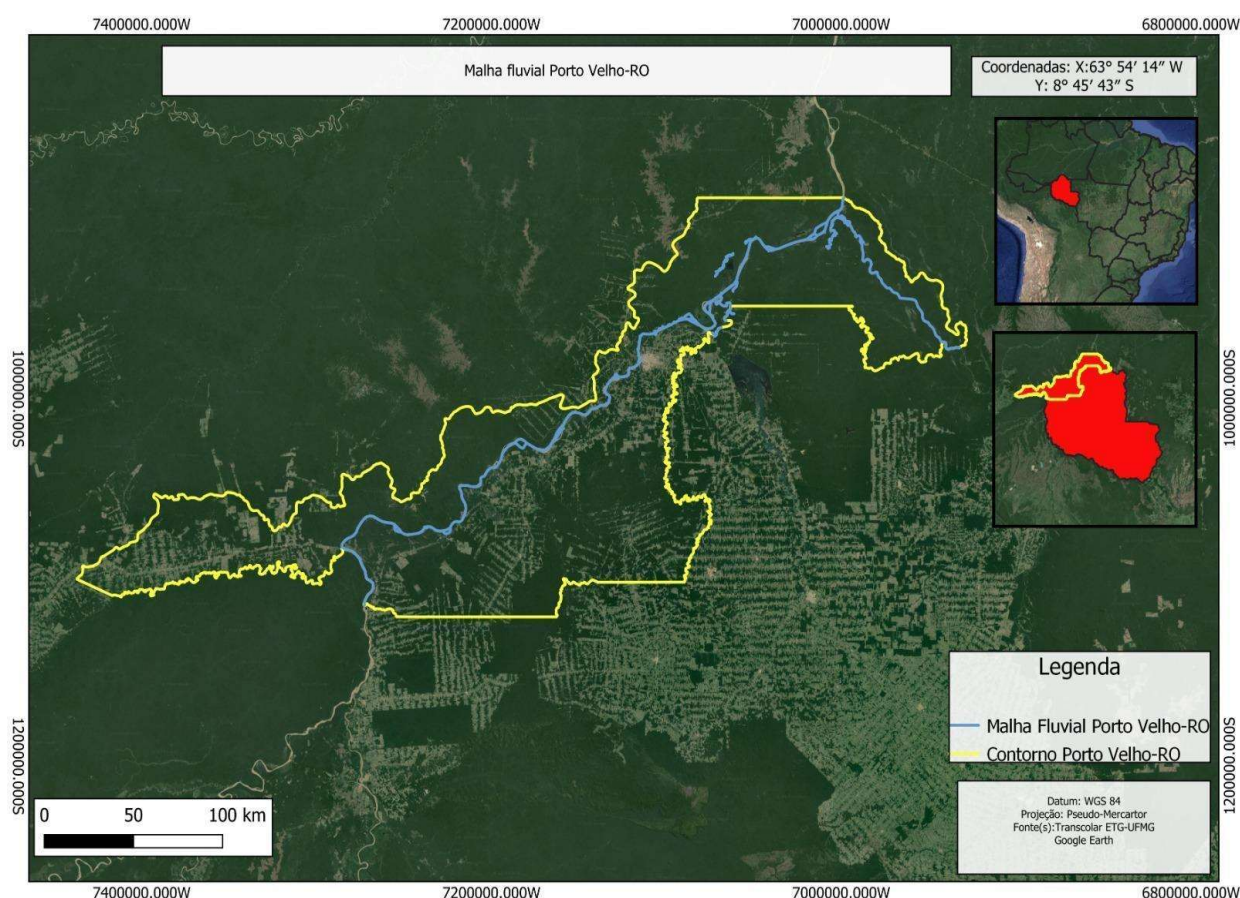
O Estado de Rondônia está localizado na região Norte do Brasil, fazendo fronteira com os estados de Mato Grosso, Amazonas, Acre e com a Bolívia. Rondônia é um dos nove estados brasileiros que fazem parte da Amazônia Legal, que representa 62% do território do Brasil e também inclui os estados do Amazonas, Pará, Acre, Roraima, Amapá, Maranhão, Mato Grosso e Tocantins, além de outros países, como Colômbia e Peru (Fundação Amazonas Sustentável, 2017).

O estado possui área de 237.754,172 quilômetros quadrados e população estimada de 1.815.278 pessoas. Sua capital, Porto Velho, possui uma população estimada em 548.952 pessoas. Em 2023, a cidade possuía 73.179 matrículas no ensino fundamental e 20.218 matrículas no ensino médio (IBGE, 2023).

A ocupação da região, impulsionada principalmente por atividades de extração de ouro e borracha, não ocorreu apenas na capital, mas também em comunidades ribeirinhas ao longo do Rio Madeira, que corta o município de Porto Velho e banha a cidade pela margem direita (Pereira *et al*, 2016).

O transporte escolar rural no estado de Rondônia tem apresentado complicações desde 2018. De acordo com reportagem de março de 2023 do portal O Eco, uma investigação da Polícia Federal encontrou irregularidades nos contratos da empresa prestadora de serviços de transporte escolar no estado em 2018. Desde então, os alunos estão sem transporte fluvial. Segundo a mesma reportagem, mais de 550 estudantes de escolas estaduais e municipais dependem do transporte escolar fluvial em Porto Velho (O Eco, 2023). A Figura 4.1 apresenta a malha fluvial de Porto Velho extraída do Sistema Transcolar Rural.

Figura 4.1 – Malha Fluvial do município de Porto Velho



Durante 2018 e 2019, foram realizadas audiências públicas com os responsáveis pelo transporte escolar, buscando solucionar a paralisação, no entanto, não houve solução por parte da prefeitura e do governo estadual e os estudantes não conseguiram finalizar as suas séries letivas. Em 2020, as escolas foram fechadas devido à pandemia de Covid-19 e houve uma audiência virtual com todos os envolvidos judicialmente nos trâmites sobre o transporte escolar. Como resultado, foi definido que o município de Porto Velho ficaria responsável pelo transporte escolar terrestre e o Estado de Rondônia deveria garantir o transporte escolar fluvial. Entretanto, o transporte fluvial ainda não retornou (O Eco, 2023).

A Diretoria de Portos e Costas da Marinha do Brasil define dois tipos de áreas de navegação: ÁREA 1 e ÁREA 2. A ÁREA 1 corresponde às “áreas abrigadas, tais como lagos, lagoas, baías, rios e canais, onde normalmente não sejam verificadas ondas com alturas significativas que não apresentem dificuldades ao tráfego das embarcações”. A ÁREA 2 corresponde às “áreas parcialmente abrigadas, onde eventualmente sejam observadas ondas com alturas

significativas e ou combinações adversas de agentes ambientais, tais como vento, correnteza ou maré, que dificultem o tráfego das embarcações” (Marinha do Brasil, 2005).

A navegação no Rio Madeira é afetada por fatores climáticos que alteram fatores hidrológicos, como vazão, velocidade das águas e turbulência. O Rio Madeira e seus afluentes apresentam condições adversas de agentes ambientais, tais como vento, correnteza e cheias que dificultam o tráfego das embarcações. Dessa forma, o Rio Madeira é classificado como uma ÁREA 2. Esse dado será considerado na escolha da embarcação para o estudo de caso proposto.

Para o estudo de caso, foi realizado o cálculo dos custos do transporte escolar fluvial através do Sistema Transcolar Rural, desenvolvido pela UFMG, com inserção do código computacional (programa) gerado por essa pesquisa. Esses cálculos foram desenvolvidos inicialmente para o Estado de Rondônia, mas podem ser aplicados em qualquer estado cadastrado na plataforma e que faça uso do transporte escolar fluvial.

Os dados de custos utilizados nos cálculos a seguir foram propositalmente alterados dos valores originais para que as viagens analisadas não possam ser identificadas por esse estudo. Os processos de validação com especialistas internos da equipe do projeto Transcolar Rural e com os gestores do transporte escolar foram realizados com os dados reais.

Então, neste contexto, calculou-se o valor do custo quilométrico com base no modelo de estimativa de custos para engenharia, apresentado na Equação (1):

$$\text{Custo total/km} = \text{Custo fixo/km} + \text{Custo variável/km} \quad (1)$$

A esse custo pode-se acrescentar os custos indiretos, o BDI.

Para esse estudo de caso, foi considerada uma embarcação utilizada no município de Porto Velho, seguindo recomendações dos gestores estaduais. De acordo com dados da última compra realizada pela Secretaria de Estado da Educação (SEDUC), foram adquiridos barcos (voadeira) em alumínio, medindo aproximadamente 8,00 m de comprimento e 1,60 m de largura. As referidas embarcações utilizam motor a gasolina de 40 HP e devem possuir capacidade mínima de 18 passageiros.

Essas especificações técnicas foram determinadas pela SEDUC, de modo a atender as necessidades de navegação do Rio Madeira, que possui forte correnteza, sendo necessário um motor de 40 HP para otimização da velocidade. A capacidade mínima de 18 passageiros foi estabelecida porque uma embarcação menor resultaria em mais voadeiras necessárias e, conseqüentemente, mais motores, pilotos e manutenções.

4.1 Custo Fixo

Conforme já mencionado, o custo fixo é a parcela do custo operacional que não se altera em função da quilometragem percorrida.

O custo fixo anual por embarcação (voadeira) é composto por remuneração do capital investido (RCI), depreciação (CDM), seguros (CS), salários da tripulação (CST) e custo de manutenção e reparo (CMR).

4.1.1 Remuneração do capital investido

A remuneração do capital investido (RCI) também é conhecida como custo de oportunidade e representa o valor da melhor alternativa de investimento que uma empresa pode escolher. Nesse contexto, a remuneração do capital investido representa o valor que a empresa de transporte escolar obteria se optasse em investir em outro negócio, ao invés de realizar atividades relativas a transporte escolar (FNDE, 2019b).

A remuneração de capital investido (RCI) é calculada multiplicando o capital investido (I) pela taxa de juros (CoRCI), de acordo com a Equação 2:

$$RCI = I \times CoRCI \quad (2)$$

O valor do capital investido (I) é o preço de aquisição da embarcação. Para a embarcação considerada para o presente estudo, o valor do capital investido é de R\$ 25.000,00, de acordo com dados repassados pelo gestor estadual, considerando aquisições recentes da Secretaria de Estado da Educação (SEDUC) do estado de Rondônia para a cidade de Porto Velho.

No setor de transporte, a taxa de juros (CoRCI) é geralmente de aproximadamente 12% ao ano (Pacha, 2018).

Substituindo os valores na Equação 2, o valor anual de RCI é de R\$3.000,00 para as embarcações adquiridas pela Secretaria de Estado da Educação (SEDUC) do estado de Rondônia para utilização na cidade de Porto Velho.

4.1.2 Depreciação

A depreciação (CDM) é a perda do valor de um bem, devido ao uso, degradação ou obsolescência tecnológica (FNDE, 2019b).

No sistema Transcolar Rural, a taxa de depreciação (TD) é calculada de acordo com a Equação 3, onde X representa o ano de fabricação do veículo mais um. Para o cálculo, foi considerada uma embarcação tipo de 15 anos, ou seja, $X = 16$.

$$TD = -0,0200788202748 + \frac{0,691025454662}{X} - \frac{1,84853650131}{X^2} + \frac{1,33466828255}{X^3} \quad (3)$$

A Equação 3 foi obtida do Manual de Transporte Escolar do Tribunal de Contas do Estado de Pernambuco (Tribunal de Contas do Estado de Pernambuco, 2021). O método de cálculo de depreciação do Tribunal de Contas do Estado de Pernambuco consistiu em selecionar veículos mais representativos do mercado, ou seja, aqueles mais utilizados para prestar o serviço de transporte escolar, chamados de “modelos paradigma”. A depreciação nominal relativa, (ano a ano) para cada um dos modelos paradigma foi calculada através dos valores da tabela FIPE. Em seguida, um modelo estatístico foi utilizado para equalizar os coeficientes de depreciação encontrados na tabela FIPE. Por fim, foi realizada uma Regressão Linear Múltipla, usada para melhorar o modelo desenvolvido e explicar o comportamento das variáveis do banco de dados. O Manual de Transporte Escolar apresenta equações de depreciação para ônibus, micro-ônibus, van e caminhonete. Para o estudo de caso proposto, considerou-se a equação de ônibus, por ser a mais completa entre as quatro, utilizando todos os parâmetros de preços e custos.

O valor de depreciação (CDM) anual é calculado multiplicando a taxa de depreciação (TD) encontrada pelo custo de aquisição do veículo e pelo número de viagens. Para esse estudo de caso, considerou-se uma demanda de 70 alunos a serem transportados. Portanto, considerando que a capacidade da embarcação é 18 assentos, conforme já mencionado, serão necessárias 4 viagens para transportar todos os alunos. Já o custo de aquisição, conforme mencionado no item 4.1.1, é de R\$25.000,00.

Dessa forma, o valor de depreciação (CDM) anual é R\$ R\$ 1.621,53

4.1.3 Seguros

O custo de seguro (CS) foi calculado multiplicando a taxa de seguro (SE) pelo capital investido (I), de acordo com a Equação 4:

$$CS = SE \times I \quad (4)$$

Conforme mencionado no item 4.1.1, o valor do capital investido (I) é R\$25.000,00. A taxa de seguro (SE) utilizada foi de 2%, baseada na dissertação de Pacha (2018), que utilizou dados da Agência de Regulação e Controle de Serviços Públicos do Pará (ARCON).

Substituindo os valores na Equação 4, o custo de seguro (CS) é R\$ 500,00.

4.1.4 Salários da tripulação

O custo com o salário da tripulação (CST) foi calculado através dos salários da tripulação por ano (SST) e da taxa de encargos sociais (ES), de acordo com a Equação 5:

$$CST = SST \times (1 + ES) \quad (5)$$

Os valores de salários da tripulação por ano (SST) são definidos na convenção de cada categoria. Para o estudo de caso proposto, foi considerado, como exemplo, um salário mensal de R\$2.000,00, totalizando R\$24.00,00 por ano.

Os Encargos Sociais são os custos incidentes sobre a folha de pagamentos de salários (insumos classificados como mão de obra assalariada) e têm sua origem na CLT, na Constituição Federal de 1988, em leis específicas e nas Convenções Coletivas de Trabalho (Tribunal de Contas do Estado de Pernambuco, 2021).

A taxa de encargos sociais (ES) é composta por encargos do Grupo A (obrigações sociais), Grupo B (custo de reposição do profissional ausente), Grupo C (gratificações), Grupo D (indenizações), Grupo E (licença maternidade) e Grupo F (incidência do Grupo A). O valor de cada um desses encargos está apresentado na Tabela 4.1 e a taxa de encargos sociais (ES) total é 59,59%.

Tabela 4.1 – Encargos Sociais

Descrição	Grupo	Valor (%)	Fonte
INSS	A	20	Artigo 22, Inciso I, Lei 8.212/91
FGTS	A	8	Artigo 15, Lei 8030/90 e Art. 7º Inciso III, CF/88
SESI/SESC	A	1,5	Decreto 2.318/86
SENAI/SENAC	A	1	Decreto 2.318/86
INCRA	A	0,2	Decreto Lei 1.146/70
SEBRAE	A	0,6	Artigo 8º, Lei 8.029/90 e Lei 8.154/90
Salário Educação	A	2,5	Artigo 3º, Inciso I, Decreto 87.043/82
SAT/FAP	A	3	Fator Acidentário de Prevenção (FAP)
Acidente de Trabalho	B	0,02	Instrução Normativa (IN) 005/2017, alterada pela IN 007/2018
Ausência por Doença	B	1,54	Instrução Normativa (IN) 005/2017, alterada pela IN 007/2018
Faltas Legais	B	0,91	Instrução Normativa (IN) 005/2017, alterada pela IN 007/2018
Licença Paternidade	B	0,04	Instrução Normativa (IN) 005/2017, alterada pela IN 007/2018
Aviso Prévio Trabalhado	B	0,01	Artigos 487 e 488 da CLT e Inciso XXI do Artigo 7º da CF/88.
13º Salário	C	8,33	Instrução Normativa (IN) 005/2017, alterada pela IN 007/2018
Adicional 1/3 Férias	C	3,1	Instrução Normativa (IN) 005/2017, alterada pela IN 007/2018
FGTS sobre Aviso Prévio e FGTS sobre 13º indenizado	D	0,09	Instrução Normativa (IN) 005/2017, alterada pela IN 007/2018

Descrição	Grupo	Valor (%)	Fonte
Indenização compensatória por demissão sem justa causa	D	2,31	Instrução Normativa (IN) 005/2017, alterada pela IN 007/2018
Aviso Prévio indenizado, Férias, 1/3 Férias e 13º indenizado	D	1,31	Instrução Normativa (IN) 005/2017, alterada pela IN 007/2018
Aprovisionamento de férias sobre licença maternidade	E	0,004	Instrução Normativa (IN) 005/2017, alterada pela IN 007/2018
Incidência Grupo A	F	5,13	Instrução Normativa (IN) 005/2017, alterada pela IN 007/2018
Total		59,59%	

Substituindo o valor do salário anual (R\$24.000,00) e o valor dos encargos sociais (59,59%) na Equação 5, encontra-se o valor de R\$ 38.301,60 para custo com o salário da tripulação (CST).

4.1.5 Custo de manutenção e reparo

O custo de manutenção e reparo (CMR) é obtido multiplicando o capital investido (I) pela taxa de manutenção anual (ME), de acordo com a Equação 6:

$$CMR = I \times ME \quad (6)$$

Conforme apresentado na Seção 4.1.1, o valor de capital investido (I) é R\$ 25.000,00.

A taxa de manutenção anual (ME) foi obtida na revisão de literatura (Pacha, 2018) e seu valor é 2%.

Portanto, substituindo os valores na Equação 6, o custo de manutenção e reparo (CMR) é de R\$500,00 para a embarcação considerada no estudo de caso proposto.

4.1.6 Custo fixo total anual

Por fim, o custo fixo total anual (CF) é calculado somando remuneração do capital (RCI), depreciação (CDM), seguros (CS), salários da tripulação (CST) e custo de manutenção e reparo (CMR), de acordo com a Equação 7:

$$CF = RCI + CDM + CS + CST + CMR \quad (7)$$

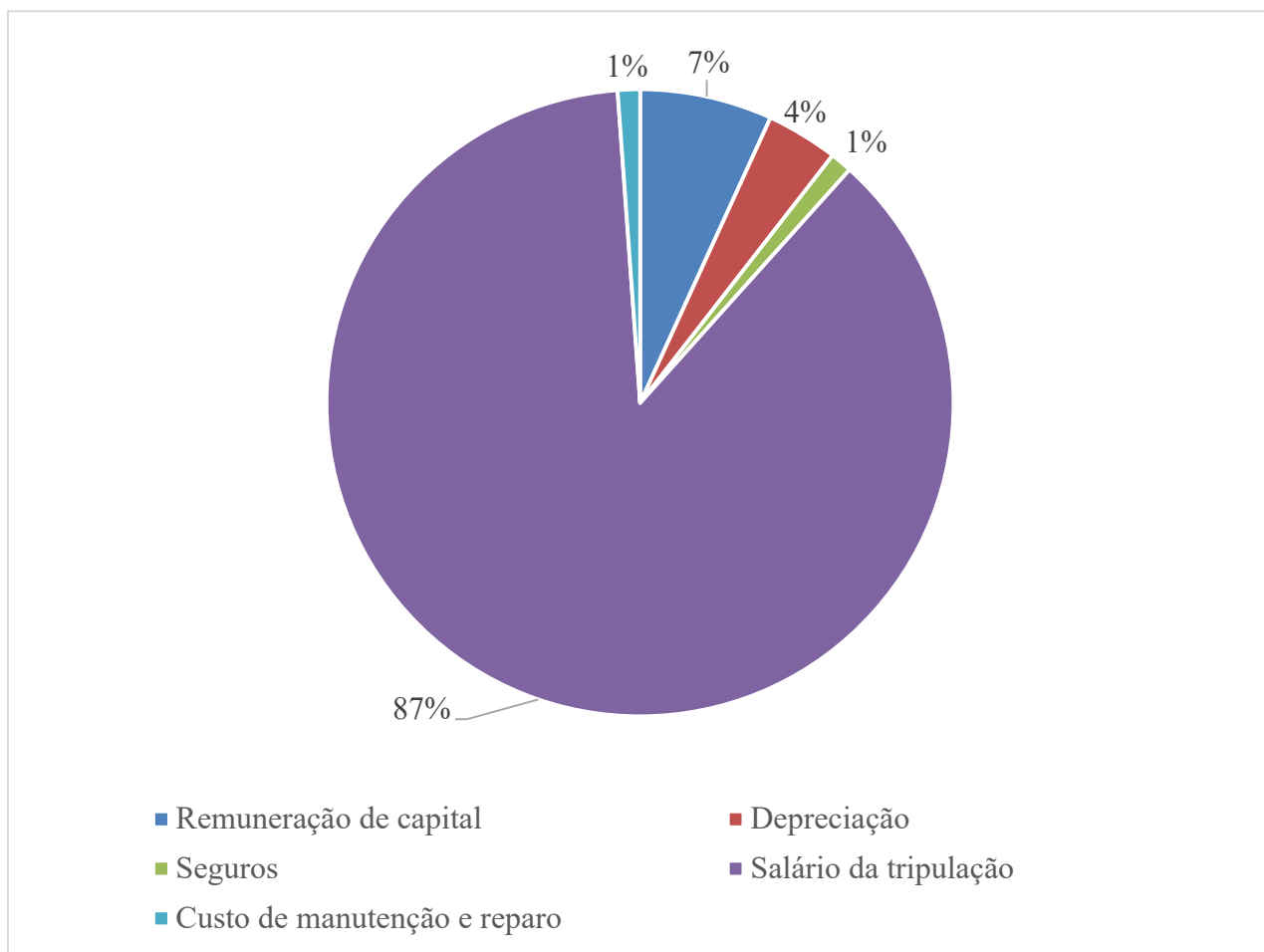
Os valores de cada parcela e o valor total dos custos fixos da embarcação de alumínio considerada são apresentadas na Tabela 4.2. Os valores representam os custos de cada lancha por ano.

Tabela 4.2 – Custos Fixos

Sigla	Descrição	Valor
RCI	Remuneração do Capital	R\$ 3.000,00
CDM	Depreciação	R\$ 1.621,53
CS	Seguros	R\$ 500,00
CST	Salários da Tripulação	R\$ 38.301,60
CMR	Manutenção e Reparo	R\$ 500,00
CF	Custo Fixo Total	R\$ 43.923,13

As porcentagens de cada parcela dos custos fixos estão apresentadas na Figura 4.2. Observa-se que a maior parte dos custos fixos é com a folha de pagamento, que representa 87% do custo fixo anual total por embarcação.

Figura 4.2 – Custos fixos da LE-M – Percentual



4.2 Custo Variável

O custo variável, ao contrário do custo fixo, depende das horas de operação da embarcação. Ele inclui custos de combustível e lubrificantes (CC) e custo do motor (CM).

4.2.1 Combustível e lubrificantes

Para cálculo dos custos de combustível e lubrificantes (CC), são necessários alguns parâmetros de entrada: dados de consumo específico de combustíveis (CEC), densidade de combustível (GC), preço do combustível (PC), consumo específico de lubrificantes (GEL), densidade do lubrificante (GL) e preço do lubrificante (PL). Os valores de consumo específico e densidade são obtidos na Agência de Regulação e Controle de Serviços Públicos do Pará (ARCON) e os valores de preço de combustível e lubrificante são obtidos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), seguindo recomendações da

revisão de literatura (Pacha, 2018). Conforme mencionado, as embarcações utilizadas em Rondônia utilizam motor a gasolina.

Com esses dados, calcula-se o custo com combustível e lubrificantes (CCT), de acordo com a Equação 8. O valor é obtido em R\$/(HP·h).

$$CCT = (CEC \times PC \div GC) + (GEL \times PL \div GL) \quad (8)$$

Os parâmetros de entrada e o valor de CCT estão na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Parâmetros de Custo Variável – Combustível e Lubrificantes

Sigla	Descrição	Valor
CEC	Consumo específico de combustíveis	0,18 kg/HP·h
GC	Densidade de Combustível	0,715 kg/L
PC	Preço do Combustível	4,16 R\$/L
GEL	Consumo Específico de Lubrificantes	0,002 kg/HP·h
GL	Densidade do Lubrificante	0,9 kg/L
PL	Preço do Lubrificante	57 R\$/L
CCT	Custo com Combustível e Lubrificantes	1,17 R\$/(HP·h)

Entretanto, o custo total de combustível e lubrificantes (CC), em R\$/lança/ano, depende também dos dados da rota: número de embarques (n), tempo médio de embarque por criança (T), quilômetros percorridos (KPM), velocidade de serviço (VS), número de terminais (Nt) e tempo de manobra (TM).

Primeiramente, calcula-se o tempo de viagem no sentido com aluno (TVCA), de acordo com a Equação 9:

$$TVCA = n \times T + KPM \div VS + Nt \times Tm \quad (9)$$

Já o tempo de viagem no sentido sem aluno (TVSA) pode ser calculado a partir da Equação 10:

$$TVSA = KPM \div VS \quad (10)$$

O tempo de viagem redonda por lancha (TVRL) é obtido somando o tempo de viagem no sentido com aluno (TVCA) e o tempo de viagem no sentido sem aluno (TVSA), de acordo com a Equação 11:

$$TVRL = TVCA + TVSA \quad (11)$$

Esse valor é obtido em minutos e o valor em horas corresponde às horas em navegação por lancha (HN).

Por fim, o custo total de combustível e lubrificantes (CC) é calculado a partir do custo de combustível e lubrificantes (CCT), da potência do motor principal (HPP), do fator de potência do motor principal (FPP), dos dias de operação no ano (DO) e das horas em navegação por lancha (HN), de acordo com a Equação 12.

$$CC = CCT \times (FPP \div HPP) \times HN \times DO \quad (12)$$

O custo de combustível e lubrificantes (CCT) foi calculado na Equação 8. O valor da potência do motor principal (HPP) é 40 HP, conforme orientação da SEDUC, e o valor do fator de potência do motor principal (FPP) é obtido na Agência de Regulação e Controle de Serviços Públicos do Pará (ARCON), conforme recomendação da revisão de literatura (Pacha, 2018).

Os valores utilizados estão apresentados na Tabela 4.4, bem como o valor final do custo total de combustível e lubrificantes (CC).

Tabela 4.4 – Custo total de combustível e lubrificantes

Sigla	Descrição	Valor
n	Número de embarques	18
T	Tempo médio de embarque por criança	0,5 min/criança
KPM	Quilômetros percorridos	7,5 km
Tm	Tempo de manobra	4 minutos
VS	Velocidade de serviço	27 km/h

Sigla	Descrição	Valor
Nt	Número de terminais	6
TVCA	Tempo de Viagem No Sentido Com Aluno	49,67
TVSA	Tempo de Viagem No Sentido Sem Aluno	16,67
TVRL	Tempo de viagem redonda por lancha	66,33
HN	Horas em navegação por lancha	1,11 h
CCT	Custo com Combustível e Lubrificantes	1,17 R\$/ (HP·h)
FPP	Fator de Potência do Motor Principal	75%
HPP	Potência do Motor Principal	40 HP
DO	Dias de operação no ano	200
CC	Custo total de combustível e lubrificantes	R\$ 7.818,44

4.2.2 Custo do motor

O custo do motor (CM) é calculado através da divisão do preço do motor (MO) pela vida útil do motor (VM), de acordo com a Equação 13:

$$CM = MO \div VM \quad (13)$$

O estudo de caso considerado considera que o motor das embarcações deve ser trocado a cada dez anos, mantendo o casco da embarcação original. De acordo com a última aquisição realizada pela SEDUC de Rondônia, o motor de 40 HP compatível com a embarcação utilizada no local possui preço (MO) de R\$23.000,00.

Substituindo os valores de MO (R\$23.000,00) e VM (10 anos) nas Equação 13, tem-se que o custo do motor (CM) é de R\$2.300,00 por ano.

4.2.3 Custo variável total

Dessa forma, o custo variável (CV) foi calculado através da soma do custo total de combustível e lubrificantes (CC) e do custo do motor (CM), de acordo com a Equação 14:

$$CV = CC + CM \quad (14)$$

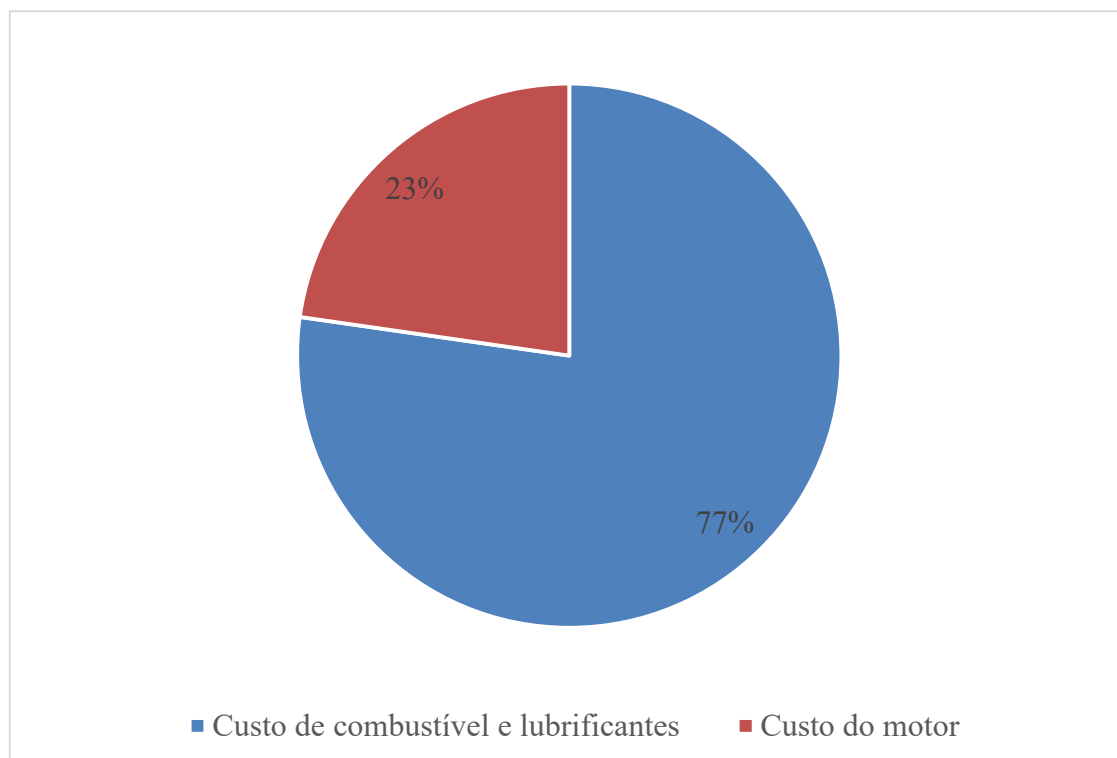
Os valores de cada parcela do custo variável por ano são apresentados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Custos Variáveis

Sigla	Descrição	Valor
CC	Custo total de combustível e lubrificantes	R\$ 7.818,44
CM	Custo do motor	R\$ 2.300,00
CV	Custo variável total	R\$ 10.118,44

A Figura 4.3 apresenta os percentuais de cada parcela do custo variável. A maior parte do custo variável é com combustível e lubrificantes, representando 77% do custo variável total.

Figura 4.3 – Custos variáveis – Percentual



4.3 BDI (Benefícios e despesas indiretas)

Aos custos fixo e variável determinados para o estudo de caso proposto, deve-se agregar o correspondente ao BDI (taxas e tributos, despesas indiretas e o lucro) para composição final do custo. As taxas que compõem o BDI são apresentadas na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Taxas componentes do BDI

Parcela	Grupo	Valor (%)
COFINS	Taxas e Tributos	3
Despesa Financeira	Despesa Financeira	0,59
Despesas Administrativas	Despesas Indiretas	3
ICMS	Taxas e Tributos	0

Parcela	Grupo	Valor (%)
ISS	Taxas e Tributos	5
Margem de Lucro	Lucro	6,65
PIS	Taxas e Tributos	0,65
Risco	Despesas Indiretas	0,5
Seguro	Despesas Indiretas	0,3
Total		19,69

Assim, aplicando o valor total do BDI ao custo fixo e ao custo variável, temos:

$$\text{Custo fixo (com BDI)} = \text{Custo fixo} \times (1 + \text{BDI}) \quad (15)$$

$$\text{Custo variável (com BDI)} = \text{Custo variável por km} \times (1 + \text{BDI}) \quad (16)$$

Substituindo os valores encontrados nas seções 4.1 e 4.2 nas Equações 15 e 16, encontra-se os valores apresentados na Tabela 4.7:

Tabela 4.7 – Custos fixo e variável acrescidos do BDI

Custo	Valor
Custo Fixo com BDI	R\$ 52.571,59
Custo Variável com BDI	R\$ 12.110,76

4.4 Custo total

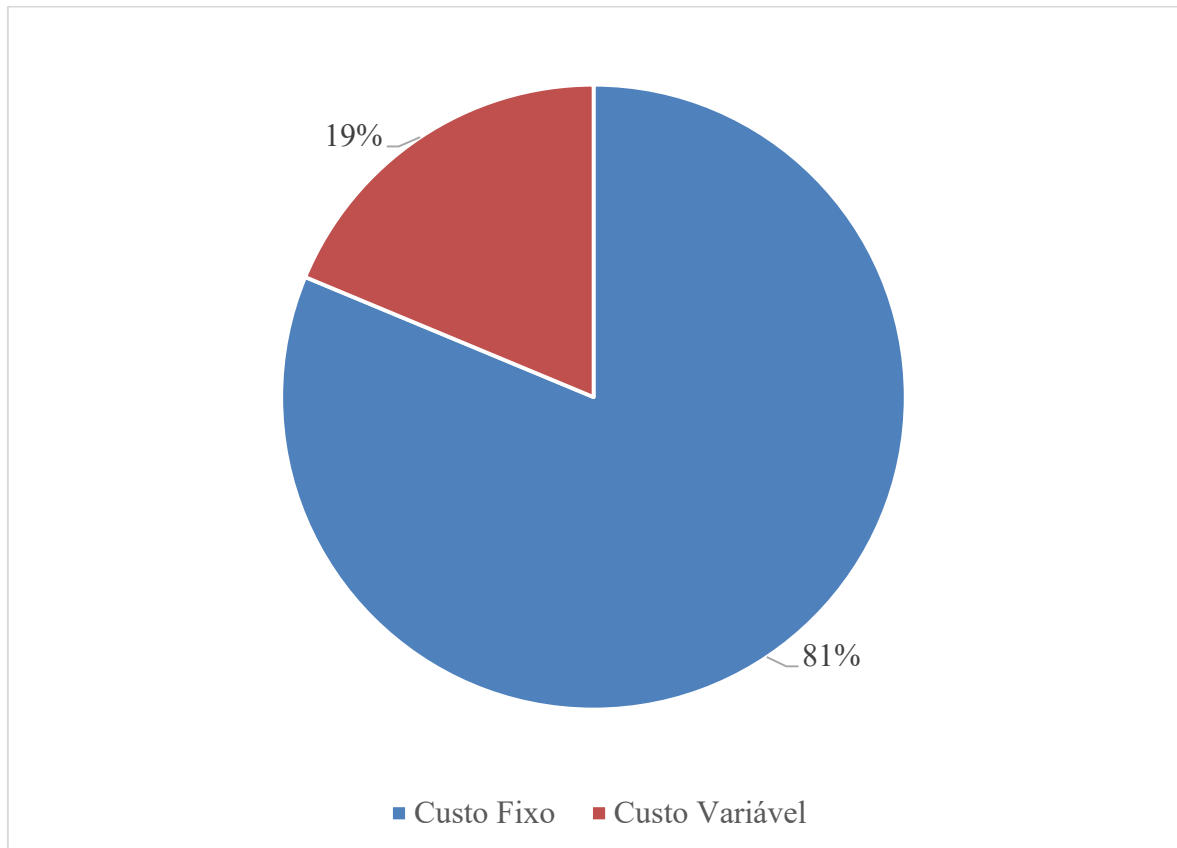
O custo total é calculado através da Equação 17:

$$\text{Custo total por km} = \text{Custo fixo (com BDI)} + \text{Custo variável (com BDI)} \quad (17)$$

Substituindo os valores encontrados na Seção 4.3, o custo total anual por embarcação, considerando o BDI é R\$ 64.682,35.

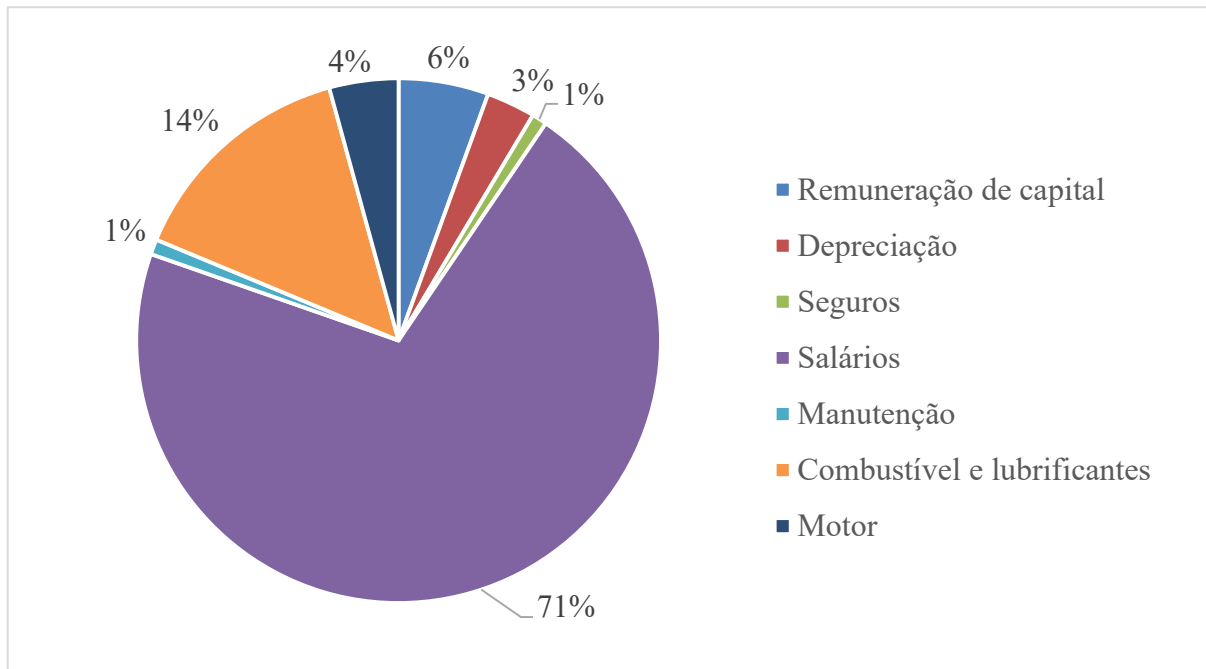
A Figura 4.4 apresenta o percentual dos custos fixos e variáveis no custo total. Os custos fixos representam 81% do custo total anual para cada embarcação.

Figura 4.4 – Percentual de Custos Fixos e Variáveis



A Figura 4.5 apresenta o percentual de todas as parcelas consideradas para custos fixos e variáveis e é possível observar que a folha de pagamento representa 71% do custo total.

Figura 4.5 – Percentual de todas as parcelas consideradas para custos fixos e variáveis



4.5 Implementação no sistema Transcolar Rural

A metodologia de cálculo de custos desenvolvida nesse capítulo foi implementada no sistema Transcolar Rural. Conforme já mencionado, o código para cálculo dos custos de cada viagem está na linguagem C#, que foi escolhida por ser a padrão do sistema. O código está apresentado de maneira resumida no Anexo 2 do presente estudo.

As figuras 4.6, 4.7, 4.8 e 4.9 mostram a implementação do modo fluvial no sistema Transcolar Rural.

Figura 4.6 – Parâmetros de custo fluvial no sistema Transcolar Rural

Parâmetros de custos fluvial									
Parâmetros municipais			Parâmetros estaduais				Saída		
Parâmetros municipais									
Estado	Código municipal	Dias letivos no mês	Dias letivos no ano	Serviço de rastreamento mensal		Serviço de tacógrafo mensal		Custo de adesiv.	
RO	1100205	20	200	Valor	Fonte	Valor	Fonte	Valor	40
				45		32.5			
Primeira Anterior 1 Próxima Última									
Parâmetros municipais embarcações									
COPIAR REFERÊNCIA									
Estado	Código municipal	Tipo de veículo	Veículo ativo	Veículo paradigma	Ano de fabricação do ...	Ano de fabricação do ...	Tipo de combustível	Tipo	
RO	1100205	até 8 lugares		A definir	0	0	GASOLINA	Motc	
RO	1100205	até 15 lugares		Lancha Fluvial	0	0	GASOLINA	Motc	
RO	1100205	até 23 lugares	SIM	Lancha Fluvial Escolar - 19 ...	2012	2024	GASOLINA	Motc	
RO	1100205	acima de 23 lugares	SIM	Lancha Fluvial Escolar - 21 ...	2024	2024	GASOLINA	Mo	
Primeira Anterior 1 Próxima Última									

Figura 4.7 – Viagens no município de Porto Velho no sistema Transcolar Rural

PORTO VELHO (RO)								
	Total de viagens cadastradas	Viagens ativas	Veículos	Custo anual (R\$)	Distância percorrida por dia (km)	Alunos informados em viagens	Alunos detalhados em viagens	Alunos cadastrados no Transcolar
Total:	282	230	185	3220540,38	18041,46	6453	6352	8149
Rede estadual:	109	57	41	3220540,38	2370,59	3339	3238	5034
Rede municipal:	173	173	146	0,00	15670,87	3114	3114	3115

NOVA VIAGEM		RELATÓRIOS DE ALUNOS NÃO TRANSPORTADOS					Ano: < 2025 >						
Salvar	Excluir	Alunos	Tracado App	Mapa	Ativa	Viagem	Identificador da viagem	Alunos informados em viag...		Alunos detalhados em viagem			
					filtrar c	filtrar col	filtrar coluna ...	Estaduais	Municipais	Ida	Volta	Estaduais	Municip
					✓	3	ROTA 1 - QTF3105 - ESCOLA LYDIA JOHNSON	26	0	25	25	25	
					✓	5	ROTA 2 - SLG0126 - ESCOLA LYDIA JOHNSON	40	0	40	40	40	
					✓	6	ROTA 3 - QTF4A35 - ESCOLA LYDIA JOHNSON	22	0	21	21	21	
					✓	7	ROTA 1 - KNW7J46 - MATUTINO - ESCOLA SANTA MARCELINA - MARCELLO CANDIA - BR	13	0	13	13	13	
					✓	8	ROTA 1 - KNW7J46 - VESPERTINO - ESCOLA SANTA MARCELINA - MARCELLO CANDIA - BR	24	0	24	24	24	
					✓	9	ROTA 2 - LQ05F97 - MATUTINO - ESCOLA SANTA MARCELINA - MARCELLO CANDIA - BR	17	2	19	19	17	
					✓	10	ROTA 2 - LQ05F97 - VESPERTINO - ESCOLA SANTA MARCELINA - MARCELLO CANDIA - BR	26	1	27	27	26	
					✓	11	ROTA 3 - OAD9D28 - MATUTINO - ESCOLA SANTA MARCELINA - MARCELLO CANDIA - BR	39	0	39	39	39	
					✓	12	ROTA 3 - OAD9D28 - VESPERTINO - ESCOLA SANTA MARCELINA - MARCELLO CANDIA - BR	41	0	41	41	41	
					✓	13	ROTA 4 - OAD9E18 - MATUTINO - ESCOLA SANTA MARCELINA - MARCELLO CANDIA - BR	36	0	36	36	36	
					✓	14	ROTA 4 - OAD9E18 - VESPERTINO - ESCOLA SANTA MARCELINA - MARCELLO CANDIA - BR	41	0	41	41	41	
					✓	15	ROTA 5 - OAD9C18 - MATUTINO - ESCOLA SANTA MARCELINA - MARCELLO CANDIA - BR	22	0	22	22	22	
					✓	16	ROTA 5 - OAD9C18 - VESPERTINO - ESCOLA SANTA MARCELINA - MARCELLO CANDIA - BR	13	0	13	13	13	
					✓	17	ROTA 6 - OAD9J08 - MATUTINO - ESCOLA SANTA MARCELINA - MARCELLO CANDIA - BR	30	1	31	31	30	

Figura 4.8 – Requisição no sistema Transcolar Rural com inclusão de transporte fluvial

Nova Requisição

Ano base: i

	Veículos oficiais	Veículos não oficiais	Ano fabricação veículo	Distância mínima do ramal da viagem		Tipo aluno	
Até 08 lugares	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="2018"/>	Ensino Médio/EJA	<input type="text" value="3000"/> metros	Municipal	<input type="radio"/>
Até 15 lugares	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="2018"/>	Ensino Fundamental - Estadual	<input type="text" value="2000"/> metros	Estadual	<input type="radio"/>
Até 23 lugares	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="2018"/>	Ensino Fundamental - Municipal	<input type="text" value="2000"/> metros	Ambos	<input checked="" type="radio"/>
Acima de 23 lugares	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="2018"/>	Pré-escola	<input type="text" value="1000"/> metros		<input type="radio"/>
				Ensino especial (APAE)	<input type="text" value="0"/> metros		<input type="checkbox"/>
				Ensino Noturno	<input type="text" value="1000"/> metros		<input type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/> Excluir zona urbana		<input type="checkbox"/>

Tipo de Transporte

Capacidade do veículo acima de 23 lugares:

Distância máxima do aluno **Municipal** à escola que não dá direito ao transporte escolar: metros

Tempo esperado de chegada do aluno antes do início da aula: min.

Tempo máximo no veículo: min.

Distância máxima do aluno **Estadual** à escola que não dá direito ao transporte escolar: metros

Velocidade média considerada no cálculo: km/h

Distância máxima entre escolas a agrupar: metros

Figura 4.9 – Relatório de viagens da requisição

NOVA REQUISIÇÃO										Ano: < 2025 >
Requisição	Ano Base	Ativa	Versão	Situação	Tipo de Otimização	Tipo aluno	Data de Atualização	Descrição do Erro	Login usuário	Distância
11000735	2025		0	15 - Cálculo de custos executado com sucesso	8	T	2025-06-04T13:19:33.819088Z	Não houve erro	transcolar_admin	

Primeira Anterior 1 Próxima Última

5 VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

Para desenvolver os estudos com dados coerentes e validar os resultados calculados, foram consultados especialistas e gestores estaduais do estado de Rondônia. Os resultados foram validados através de um questionário enviado aos especialistas. O questionário e as respostas recebidas estão no Anexo 1.

Um dos pontos observados pela equipe de especialistas é como a sazonalidade afeta a navegabilidade no Rio Madeira. Há períodos em que a baixa dos rios prejudica a navegação, refletindo na vida útil do motor. Dessa forma, o estudo de caso proposto considerou o custo para o casco da embarcação como custo fixo e o custo do motor como custo variável, sendo necessário substituir o motor a cada dez anos. Os estudos de transporte escolar fluvial apresentados na revisão de literatura não consideram o motor uma das parcelas do custo, considerando apenas o preço completo da embarcação, que já inclui o motor. Entretanto, a realidade observada no estado de Rondônia mostra que os motores devem ser substituídos e alguns registros de compra mostram que o Estado já realizou a compra de motores para as embarcações que atendem o transporte escolar aquaviário.

Os especialistas consultados também orientaram quanto à escolha da melhor embarcação para os cálculos no local. Inicialmente, os cálculos haviam considerado embarcações padrão do FNDE, em dois tamanhos diferentes: Lancha Escolar Média (LE-M) e Lancha Escolar Grande (LE-G), conforme dados encontrados na revisão de literatura. A Lancha Escolar Média possui capacidade de 20 assentos, potência de motor de 73 HP e preço de aquisição de 200 mil reais. A Lancha Escolar Grande possui capacidade de 33 assentos, potência de motor de 100 HP e preço de aquisição de 260 mil reais. Ambas as lanchas utilizam motor a diesel e possuem casco de aço com casaria de fibra de vidro. (Pacha, 2018). Entretanto, os especialistas de Rondônia informaram que a região utiliza apenas embarcações com motor a gasolina e casco de alumínio, com especificações diferentes das embarcações padrão do FNDE. As lanchas no local são adquiridas com especificações próprias de modo a atender os critérios de navegabilidade do Rio Madeira. Dessa maneira, foram analisados dados recentes da SEDUC do estado de Rondônia, encontrando embarcações com motor de 40 HP movido a gasolina, com capacidade para 18 passageiros.

A equipe também confirmou a realidade apresentada na revisão de literatura: as condições de embarque e desembarque no local são extremamente difíceis, pois raramente existem pontos

para embarque e desembarque. Isso faz com que muitos alunos tenham que subir ou descer grandes barrancos para acesso às embarcações, principalmente no verão, quando o nível das águas abaixa.

Também foram disponibilizadas imagens de algumas embarcações em uso no local, conforme as Figuras 5.1 e 5.2.

Figura 5.1 – Embarcações utilizadas no Transporte Escolar Aquaviário no município de Porto Velho



Fonte: Acervo SEDUC-RO

Figura 5.2 – Embarcações mais antigas utilizadas no Transporte Escolar Aquaviário no município de Porto Velho



Fonte: Acervo SEDUC-RO

Por fim, para aprimorar o processo de cálculo dos custos do transporte fluvial, os especialistas sugerem a realização de estudos de campo, bem como a coleta de depoimentos de moradores locais, alunos e pilotos de embarcações.

6 CONCLUSÃO

O transporte fluvial é parte essencial do sistema de transporte escolar no Brasil, em especial em regiões ribeirinhas. Para muitos alunos nessas regiões, o transporte escolar fluvial é a única maneira de chegar à escola, garantindo que estudantes possam frequentar as aulas com regularidade e, conseqüentemente, combatendo a evasão escolar. Dessa forma, o transporte escolar aquaviário reduz desigualdades ao permitir que crianças de comunidades isoladas tenham acesso à educação básica. O presente estudo visa contribuir para esse tipo de transporte, para expandir sua aplicabilidade e entender os custos associados a ele, o que pode ajudar a informar decisões sobre políticas públicas.

O estudo apresenta os resultados da aplicação do Transcolar Rural, originalmente desenvolvido para o transporte rodoviário, ao sistema de transporte fluvial, usando a cidade de Porto Velho como estudo de caso. Foi observado que a estrutura de custos fixos e variáveis do modelo rodoviário é aplicável ao contexto fluvial, desde que ajustada a parâmetros específicos, como horas de operação das embarcações e características das vias navegáveis. Dessa forma, o primeiro objetivo específico do trabalho, identificação dos dados necessários para cálculos dos custos do transporte escolar fluvial, foi cumprido. Os parâmetros utilizados para cálculo foram definidos através da revisão de literatura e validados por especialistas do local.

O segundo objetivo específico do trabalho é analisar os custos fixos e variáveis presentes no sistema de transporte escolar fluvial. Assim como no modelo fluvial, o modelo rodoviário calcula tanto os custos fixos mensais quanto os custos variáveis por quilômetro. Ao comparar os dois modelos, podemos observar que, embora os parâmetros específicos possam variar, a estrutura dos cálculos é semelhante. No entanto, é importante notar que os custos específicos podem variar significativamente entre os dois modos de transporte devido às diferenças nas condições de operação e nos requisitos de equipamento.

A análise revelou que os custos fixos, em especial a remuneração da tripulação, representam a maior parcela dos gastos, reforçando a necessidade de políticas públicas diferenciadas para regiões ribeirinhas.

Posteriormente, o modelo proposto foi validado com especialistas de Rondônia, conforme estabelecido no terceiro objetivo específico do trabalho. Os especialistas confirmaram o tipo

de embarcação utilizada no local para atender às especificidades do Rio Madeira e seus afluentes. Também foi confirmado que é importante calcular os custos do casco da embarcação e do motor separadamente, sendo o primeiro um custo fixo e o segundo, um custo variável. O questionário aplicado aos especialistas está apresentado no Anexo 1.

Por fim, a metodologia de custos proposta neste estudo foi implementada na linguagem C#, dentro do sistema Transcolar Rural, em conformidade com os objetivos específicos estabelecidos. O código em C# desenvolvido encontra-se resumidamente apresentado no Anexo 2.

O trabalho contribuiu com uma metodologia inovadora para o cálculo de custos no transporte fluvial escolar, integrando variáveis como consumo de combustível baseado em horas de operação e vida útil dos motores das embarcações. Esses resultados podem subsidiar revisões nos programas do FNDE, como o Caminho da Escola, para garantir repasses financeiros mais adequados às realidades locais. Além disso, o modelo desenvolvido serve como base para futuras aplicações de Machine Learning no Transcolar, como algoritmos de otimização de rotas que considerem não apenas distâncias, mas também os custos operacionais identificados neste estudo.

Entretanto, algumas limitações devem ser reconhecidas. O modelo não incorporou variações sazonais (como períodos de cheia e seca), que impactam diretamente a navegabilidade e os custos. Além disso, parâmetros como distâncias percorridas e número de terminais foram baseados em literatura, e não em dados primários de Porto Velho, o que sugere a necessidade de validação empírica em trabalhos futuros.

Como próximos passos, recomenda-se testar o modelo com dados reais de operação das embarcações em Rondônia, coletados via GPS ou sistemas de monitoramento fluvial. Também seria valioso aplicar a metodologia em outros estados da Amazônia Legal, como Amazonas e Pará, para identificar padrões regionais e ajustar políticas públicas de forma mais precisa. Por fim, a integração com técnicas de Machine Learning, como algoritmos de clusterização para agrupar rotas com custos similares, pode potencializar a eficiência do transporte escolar nessas regiões.

Este estudo reforça a importância do transporte fluvial como ferramenta essencial para garantir acesso equitativo à educação em comunidades ribeirinhas. Ao tornar visíveis os custos envolvidos, o trabalho oferece subsídios para gestores públicos e formuladores de políticas, destacando a urgência de investimentos sustentáveis nesse modo. A continuidade da pesquisa, com coleta de dados locais e parcerias com órgãos como o FNDE e prefeituras, será fundamental para transformar esses achados em ações concretas que beneficiem estudantes em regiões isoladas.

7 REFERÊNCIAS

- Anselmo Filho, S.; Nogueira, E. M. L.; Paula, M. S. (2020) A trajetória da política pública de transporte escolar rural no modo aquaviário. *Nuances: Estudos sobre Educação*, 31, 413-426
- Anselmo Filho, S. (2021) *Enfrenta O Banheiro Que Hoje Tem Aula*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Humanidades), Universidade Federal do Amazonas, Humaitá.
- Baskerville, R. L. (1999) Investigating Information Systems with Action Research, *Communications of the Association for Information Systems: Vol. 2, Article 19*. DOI: 10.17705/1CAIS.00219.
- Bonaccorso, G. (2017). *Machine learning algorithms*. Packt Publishing Ltd.
- Brasil. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.
- Calheiros, C. S. (2010). Metodologia de tarifa para transporte fluvial de passageiros na Amazônia. *COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ*.
- Carvalho, W. L., Yamashita, Y. (2015). Uma análise sobre o custo do transporte escolar rural aquaviário no Brasil. In *Anais do XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte, ANPET, Ouro Preto* (pp. 2274-2285).
- Egami, C. Y., Souza, R. D. A., Magalhães, M. T. Q., Costa, E. J. S. C., Alves, M. F. B., Yamashita, Y. (2006). Panorama das políticas públicas do transporte escolar rural. In *Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes* (Vol. 20).
- Ellegood, W. A., Solomon, S., North, J., & Campbell, J. F. (2020). School bus routing problem: Contemporary trends and research directions. *Omega* 95, 102056.
- Erman, J., Arlitt, M., & Mahanti, A. (2006). Traffic classification using clustering algorithms. In *Proceedings of the 2006 SIGCOMM workshop on Mining network data* (pp. 281-286).

Fernandes, A. P. C. S.; Fernandes, A. S. (2016) A (in) Acessibilidade Nos Transportes e as Pessoas Com Deficiência da Comunidade Ribeirinha da Amazônia Paraense. *Revista Cocar*, 10(19), 240-264.

FNDE (2018). Caracterização e Avaliação do Transporte Escolar do Brasil - Volume I. Disponível em <https://www.fnde.gov.br/index.php/centrais-de-conteudos/publicacoes/category/131-transporte-escolar?download=14422:att-070121>. Acesso em 3 de outubro de 2022.

FNDE/UFMG (2018). Caracterização e Avaliação do Transporte Escolar do Brasil. Volume I. Disponível em: <https://www.gov.br/fnde/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/programas/caminho-da-escola/manuais-e-cartilhas> Acesso em 10 de janeiro de 2025.

FNDE (2019a). Metodologia de Custo do Transporte Escolar Rural. Disponível em: <https://www.gov.br/fnde/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/programas/caminho-da-escola/media/cecates/CECATE10Mdulo6CadernodoAlunoCustodoTER.pdf>

FNDE (2019b). Entendendo os Custos do Transporte Escolar. Disponível em: <https://www.gov.br/fnde/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/programas/caminho-da-escola/manuais-e-cartilhas>

FNDE/UFMG (2019): Conhecendo o Programa Nacional de Apoio ao Transporte do Escolar e o Programa Caminho da Escola. Disponível em: <https://www.gov.br/fnde/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/programas/caminho-da-escola/manuais-e-cartilhas>. Acesso em 10 de janeiro de 2025.

FNDE (2023) O Transporte Escolar Rural no Brasil. Disponível em: <http://repositorio.fnde.gov.br/jspui/handle/prefix/232>

Fundação Amazonas Sustentável (2017) *Recortes e cenários educacionais em localidades rurais ribeirinhas do Amazonas*, Manaus.

Fundação Amazonas Sustentável (2022) *Radar Educacional Amazônico: Iniciativas promissoras para a educação de populações tradicionais da Amazônia*, Manaus.

- Gan, S., Liang, S., Li, K., Deng, J., Cheng, T. (2016) Ship trajectory prediction for intelligent traffic management using clustering and ANN. In: *2016 UKACC 11th International Conference on Control (CONTROL)*. IEEE, p. 1-6.
- GEIPOT (1996). Cálculo de Tarifas de Ônibus Urbanos: Instruções Práticas e Atualizadas. *Empresa Brasileira de Planejamento de Transporte*. Brasília, DF
- GEIPOT (1999). Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, Discussão dos 10 Aspectos mais Relevantes do Transporte Rural Escolar. Disponível em: <www.geipot.gov.br/estudos_realizados/transporte_rural/aspectos_relevantes.doc>. Acesso em 3 de outubro de 2022.
- Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design science in information systems research. *MIS quarterly*, 75-105.
- IBGE (2023) *Cidades@*. Acesso em 05 de maio de 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>
- Inep (2024). Resultados. Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/pesquisas-estatisticas-e-indicadores/censo-escolar/resultados>
- Intel (2022) An Economy in Motion Is Fueled by Transportation. Acesso em 15 de agosto de 2022. Disponível em: <https://www.intel.com/content/www/us/en/transportation/overview.html>
- Janiesch, C., Zschech, P., & Heinrich, K. (2021). Machine learning and deep learning. *Electronic Markets*, v. 31, n. 3, p. 685-695, 2021.
- Mahesh, B. (2020). Machine Learning Algorithms – A Review. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. [Internet], 9(1), 381-386.
- Marinha do Brasil, 2005. Diretoria de Portos e Costas. NORMAM – Norma da Autoridade Marítima 02. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/dpc/sites/www.marinha.mil.br.dpc/files/normam-02_dpc_mod18.pdf. Acesso em: 12 de abril de 2025.

- Martins, A. P. A. (2010): *Análise dos Impactos das Condições do Transporte Escolar Rural no Rendimento Escolar dos Alunos*. Dissertação (Mestrado em Transportes), Universidade de Brasília.
- Martins, E; Silva, L. T. (2019): A qualidade do transporte escolar realizado por lanchas na Amazônia a partir das análises dos sujeitos envolvidos. *Educação: Ressonância Teóricas e Práticas*.
- Medeiros, J. T. S. (2012) *O transporte fluvial e o direito à dignidade da pessoa humana na Amazônia*. Dissertação (Mestrado em Direito Ambiental), Universidade do Estado do Amazonas, Manaus.
- Mullarkey, M. T., & Hevner, A. R. (2019) An elaborated action design research process model, *European Journal of Information Systems*, 28:1, 6-20, DOI: 10.1080/0960085X.2018.1451811
- Nações Unidas no Brasil (2024). *Objetivo de Desenvolvimento Sustentável*. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/4>. Acesso em 23 de abril de 2024.
- O Eco, 2023: Sem transporte escolar, estudantes de zonas rurais de Rondônia estão fora da escola há quase 3 anos. Disponível em: <https://oeco.org.br/reportagens/sem-transporte-escolar-estudantes-de-zonas-rurais-de-rondonia-estao-fora-da-escola-ha-quase-3-anos/>
- Pacha, R. S. (2018). *Metodologia Para Cálculo do Custo Por Assento Em Lanchas de Transporte Escolar Aquaviário Rural TEAR*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval), Universidade Federal do Pará, Belém.
- Park, J., Kim, B. I. (2010). The school bus routing problem: A review. *European Journal of operational research*, 311-319.
- Pereira, C. A. R.; Winkler, M. S.; Hacon, S. S. (2016). Análise de Condições Ambientais em Comunidades Ribeirinhas de Porto Velho, Rondônia, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.09, n. 02 (2016) 440-455.
- Porto, M. F.; Cardoso, L.; Pereira, R.M. Nunes, N. T. R.; Alves, L. V. R., (2018a): Metodologia de avaliação qualitativa de rotas escolares geradas pela plataforma

Transcolar Rural. *32º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET*, Gramado.

Porto, M. F.; Nunes, N. T. R.; Machado, A. A.; Alves, L. V. R.; Lara, B. De O.; Porto, P. B.; Cardoso, L.; Baracho, R. M. A. (2018b): Modelo de cálculo de custos, implementação e geração de relatórios do Sistema Transcolar Rural – estudo de caso de municípios do estado de Minas Gerais/Brasil. *8º Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável (Pluris 2018)*

Queiroz, K. O (2019). Transporte fluvial no Solimões: uma leitura a partir das lanchas a jato no Amazonas. *GEOUSP Espaço e Tempo (Online)*, 23(2), 322-341

Qureshi, K. N., & Abdullah, A. H. (2013). A survey on intelligent transportation systems. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 15(5), 629-642.

Ramirez-Villamil, A., Montoya-Torres, J. R., & Jaegler, A. (2023). Urban Logistics through River: A Two-Echelon Distribution Model. *Applied Sciences*, v. 13, n. 12, p. 7259.

Sadek, A. W. (2007). Artificial intelligence applications in transportation. *Transportation Research Circular*, 1-7.

Schittekat, P., Kinable, J., Sörensen, K., Sevaux, M., Spieksma, F., Springael, J. (2013). A metaheuristic for the school bus routing problem with bus stop selection. *European Journal of Operational Research*

Sciortino, M., Lewis, R., & Thompson, J. (2022). A school bus routing heuristic algorithm allowing heterogeneous fleets and bus stop selection. *SN Computer Science*, 4(1), 74.

Souza, R. R. (2019): *A Nucleação Escolar No Assentamento Vila Amazônia Em Parintins/AM E A Precarização Das Condições De Acesso, Permanência E Qualidade Social Da Educação No Campo*. Tese (Doutorado em Educação), Universidade Federal de São Carlos.

Tribunal de Contas do Estado de Pernambuco (2021): *Manual do Transporte Escolar - Guia Completo de Boas Práticas Produzido pelo TCE-PE*. Recife, Brasil.

- Tselentis, D. I., Papadimitriou, E., & van Gelder, P. (2023). The usefulness of artificial intelligence for safety assessment of different transport modes. *Accident Analysis & Prevention*, 186, 107034.
- Veiga, A. J. V.; Ribeiro, A. L. P.; Pereira, E. A. D. (2016): Representação Cartográfica do Transporte Escolar Ribeirinho Nas Ilhas do Município De Cametá-PA. *XVIII Encontro Nacional de Geógrafos*, São Luís, MA.
- Xue, Z., Deng, X., Chen, B., & Khamis, A. (2023). School bus routing using metaheuristics algorithms. *IEEE International Conference on Smart Mobility (SM)* (pp. 33-38). IEEE.
- Yuan, Z., Liu, J., Zhang, Q., Liu, Y., Yuan, Y., & Li, Z. (2021). A practical estimation method of inland ship speed under complex and changeful navigation environment. *IEEE Access*, 9, 15643-15658.

ANEXOS

ANEXO 1 – QUESTIONÁRIO COM ESPECIALISTAS

As perguntas apresentadas neste anexo foram direcionadas a especialistas do estado de Rondônia, sendo destacados a seguir os principais pontos abordados em suas respostas. Em função das informações obtidas, alguns dos cálculos inicialmente realizados foram revisados e ajustados.

1. Há alguma despesa não incluída nos cálculos que deveria ser considerada?

Os especialistas consultados na região não mencionaram nenhuma despesa que devesse ser incluída nos cálculos. As despesas consideradas estão de acordo com o observado em campo na região de Porto Velho.

2. Há alguma variação sazonal que poderia ser considerada?

A sazonalidade climática da Região Amazônica resulta em comportamento variável dos rios, gerando grandes vazões na estação chuvosa e vazões menores na estação seca, o que causa alterações profundas no traçado dos rios.

Os especialistas consultados ressaltaram que no período de inverno não é possível realizar os trajetos em várias comunidades da região de Porto Velho. Da mesma maneira, a baixa dos rios durante o verão prejudica a navegação.

A navegação no Rio Madeira é significativamente afetada pelas variações sazonais, refletindo até na vida útil do motor.

Portanto, os próximos estudos desenvolvidos para Porto Velho e região podem considerar as variações sazonais no Rio Madeira e seus afluentes.

3. As embarcações consideradas condizem com a realidade do local (Porto Velho)?

Conforme mencionado no Capítulo 5 do presente estudo, foram inicialmente utilizadas embarcações padrão do FNDE. Entretanto, os especialistas consultados informaram que essas embarcações são incompatíveis com o transporte no Rio Madeira e outros rios da região. No estado de Rondônia, as embarcações são adquiridas com especificações próprias, de forma a atender a realidade.

Dessa forma, o estudo foi refeito com embarcações que atendem as especificações do local, seguindo recomendações dos especialistas.

4. Os cálculos realizados consideraram que o motor da embarcação possui 10 anos de vida útil e deve ser substituído após esse período. Essa informação condiz com o que é feito no local?

Sim. Os profissionais consultados confirmaram que no Rio Madeira, principal canal de navegação do transporte fluvial, as condições da água podem impactar diretamente a vida útil do motor.

5. Os valores encontrados em R\$/lancha/ano estão condizentes com o observado na região?

Conforme mencionado, os valores foram calculados a partir de valores de embarcações e motores adquiridas em Rondônia, além de preços de gasolina e lubrificantes condizentes com a realidade.

Portanto, os valores encontrados estão condizentes com o observado na região do Rio Madeira.

6. Há algo nos cálculos que poderia ser modificado?

Os especialistas recomendaram a seleção da embarcação mais adequada e do motor a gasolina mais apropriado para navegação no Rio Madeira, o que foi devidamente executado, resultando na atualização dos cálculos inicialmente elaborados.

Além disso, ressaltaram a importância de incorporar a sazonalidade da região em cálculos futuros, considerando períodos de seca e cheia. Essa consideração é especialmente importante para a otimização de rotas.

7. A porcentagem de custos fixos e variáveis é condizente com o observado em campo?

Sim. No transporte escolar fluvial, a maior porcentagem dos custos é fixa, em especial com a folha de pagamentos.

8. Quais considerações você indica para melhoria do processo de cálculo de custos do transporte fluvial?

Os especialistas recomendam a realização de estudos de campo, bem como a coleta de depoimentos de moradores locais e operadores de embarcações.

Também foi mencionado que raramente há pontos de embarque e desembarque adequados para os alunos. Portanto, os próximos estudos devem considerar o número adequado de paradas e a real distância percorrida para maior precisão dos cálculos.

ANEXO 2 – CÓDIGOS DO TRANSCOLAR

A metodologia de pesquisa desenvolvida no presente estudo foi posteriormente aplicada ao sistema Transcolar Rural em linguagem C#.

O banco de dados do transporte escolar fluvial inclui BDI, encargos, manutenção, depreciação, tipo de embarcação, tipo de combustível e parâmetros. Os parâmetros utilizados no banco de dados do transporte escolar fluvial encontram-se apresentados resumidamente abaixo.

```
namespace TranscolarDB;

[Table("parametros_municipais_veiculares_fluvial")]
public class ParametrosMunicipaisVeicularFluvial
{
    [Key, Column("seq"),DatabaseGenerated(DatabaseGeneratedOption.Identity)]
    public int Seq { get; set; }
    [Column("municipio")]
    public int Municipio { get; set; }
    [Column("tipo_embarcacao")]
    public int TipoEmbarcacao { get; set; }
    [Column("veiculo_paradigma")]
    public string VeiculoParadigma { get; set; }
    [Column("ano_fabricacao_casco_embarcacao_paradigma")]
    public int AnoFabricacaoCascoParadigma { get; set; }
    [Column("preco_casco")]
    public double PrecoCasco { get; set; }
    [Column("preco_motor")]
    public double PrecoMotor { get; set; }
    [Column("vida_util_motor")]
    public double VidaUtilMotor { get; set; }
    [Column("salario_piloto_mes")]
    public double SalarioPilotoMes { get; set; }
    [Column("tipo_combustivel")]
    public int TipoCombustivel { get; set; }
    [Column("meses_operacao_ano")]
    public int MesesOperacaoAno { get; set; }
    [Column("veiculo_ativo")]
    public bool VeiculoAtivo { get; set; }
}
```

O cálculo de custos do transporte escolar fluvial encontra-se apresentado nas próximas páginas.

```

namespace TER_CUSTOS_V2;
public abstract class Calculos
{
    internal static int Municipio;
    internal static int Requiscao = -1;
    internal ParametrosMunicipais ParametrosMunicipais;
    internal List<Encargo> EncargosSociais;
    internal List<TipoCombustivel> TiposCombustiveis;
    internal List<Bdi> Bdis;
    internal List<Manutencao> Manutencoes;
    internal List<Beneficio> Beneficios;
    //TODO LISTA DE VIAGENS A SER INICIALIZADA LEVANDO EM CONSIDERACAO A
    REQUISICAO E O TIPO DE AMBIENTE
    public int TipoContratoMei;
    internal Calculos(int municipio,int requiscao = -1)
    {
        using var db = new Transcolar();
        Municipio = municipio;
        Requiscao = requiscao;
        ParametrosMunicipais = db.ParametrosMunicipais.Where(e => e.Municipio
    == municipio).SingleOrDefault();
        EncargosSociais = db.Encargos.ToList();
        TipoContratoMei = db.TiposContrato.SingleOrDefault(e => e.Sigla ==
    "MEI")?.Id ?? -1;
        TiposCombustiveis = db.TiposCombustivel.ToList();
        Bdis = db.Bdis.Where(e => e.Municipio == municipio).ToList();
    }
    internal List<Depreciacao> GerarDepreciacao(List<FormulaDepreciacao>
    formulasDepreciacao, int tipoVeiculo, int anoFabricacao, double preco)
    {
        List<Depreciacao> tabelaDepreciacao = new();
        //Primeiro passo é arrumar as formulas para o Ncalc conseguir
        interpreta-las
        var regex = new Regex(@"(\b\w+\b)\^(\\d+)");
        var formula = formulasDepreciacao.SingleOrDefault(e =>
    e.TipoVeiculo == tipoVeiculo)?.Formula;
        if (formula == null)
            throw new Exception("Nao existe formula de depreciacao pra o
        tipo de veiculo " + tipoVeiculo);
        formula = formula.Replace(',', '.');
        formula = regex.Replace(formula, "Pow($1,$2)");
        Expression e = new Expression(formula);
        //A tabela de fabricacao é baseada na depreciacao do veiculo
        paradigma
    }
}

```

```

var idadeVeiculoParadigma = DateTime.Now.Year - anoFabricacao;
idadeVeiculoParadigma = idadeVeiculoParadigma > 25 ? 25 :
idadeVeiculoParadigma;
var precoFipeVeiculoParadigma = preco;
//Calcula inicialmente a depreciacao até a idade máxima (25 anos)
for(var i = idadeVeiculoParadigma; i <= 25; i++)
{
    e.Parameters["X"] = i;
    var valorFormula = (double)e.Evaluate();
    tabelaDepreciacao.Add(
        new Depreciacao()
        {
            TipoVeiculo = tipoVeiculo,
            Municipio = Municipio,
            Requisicao = Requisicao,
            Idade = i,
            IndiceDepreciacao = valorFormula,
            ValorVenal = tabelaDepreciacao.SingleOrDefault(d =>
d.TipoVeiculo == tipoVeiculo && d.Idade == i - 1)?.ValorVenal * (1 -
valorFormula)?? precoFipeVeiculoParadigma,
            DepreciacaoAnual
= (tabelaDepreciacao.SingleOrDefault(d => d.TipoVeiculo == tipoVeiculo &&
d.Idade == i - 1)?.ValorVenal ?? precoFipeVeiculoParadigma) * valorFormula
        }
    );
}
for(var i = idadeVeiculoParadigma - 1; i >= 0 ; i--)
{
    e.Parameters["X"] = i;
    var valorFormula = (double)e.Evaluate();
    valorFormula = double.IsNaN(valorFormula) ? 0 : valorFormula;
    tabelaDepreciacao.Add(
        new Depreciacao()
        {
            TipoVeiculo = tipoVeiculo,
            Municipio = Municipio,
            Requisicao = Requisicao,
            Idade = i,
            IndiceDepreciacao = valorFormula,
            ValorVenal = tabelaDepreciacao.Single(d =>
d.TipoVeiculo == tipoVeiculo && d.Idade == i + 1).ValorVenal +
tabelaDepreciacao.Single(d=>d.TipoVeiculo == tipoVeiculo && d.Idade == i +
1).DepreciacaoAnual,
            DepreciacaoAnual = tabelaDepreciacao.Single(d=>
d.TipoVeiculo == tipoVeiculo && d.Idade == i + 1).ValorVenal *
(valorFormula/(1-valorFormula))
        }
    );
}

```

```

        );
        tabelaDepreciacao =
tabelaDepreciacao.OrderBy(d=>d.TipoVeiculo).ThenBy(e => e.Idade).ToList();
    }
    return tabelaDepreciacao;
}
internal double CalculaBeneficios(double[] beneficios, double
fatorDistancia)
{
    return beneficios.Sum(e => e) * fatorDistancia;
}
internal double CalculaEncargosSociaisPercentual(int tipoContrato)
{
    return tipoContrato == TipoContratoMei ? 0 : EncargosSociais.Sum(e =>
e.TaxaPorcentagem);
}
internal double CalculaRemuneracaoAno(double beneficios, double
engargosPercentual, double pisoSalarial, double fatorDistancia, int
mesesOperacaoAno)
{
    return fatorDistancia * (beneficios + pisoSalarial * (1 +
engargosPercentual / 100)) * mesesOperacaoAno ;
}
internal double CalculaDepreciacao(
    List<Depreciacao> tabelaDepreciacao,
    int duracaoContratoMeses,
    int mesesOperacaoAno,
    int tipoVeiculo,
    int anoFabricacao,
    double fatorDistancia
)
{
    var idadeVeiculo = DateTime.Now.Year - anoFabricacao;
    var duracaoContratoAnos =
(int)Math.Ceiling((double)duracaoContratoMeses / mesesOperacaoAno);
    var valorDepreciacao = 0.0;
    for(var i = idadeVeiculo + 1; i < idadeVeiculo + duracaoContratoAnos +
1; i++)
    {
        valorDepreciacao += tabelaDepreciacao.SingleOrDefault(e =>
e.TipoVeiculo == tipoVeiculo && e.Idade == i)?.DepreciacaoAnual
        ?? 0;
    }
    return fatorDistancia * valorDepreciacao / duracaoContratoAnos;
}
internal double CalculaRemuneracaoCapitalAno(double precoFipe, double
ipcaAcumuladoPercentual, double fatorDistancia)

```

```

    {
        return fatorDistancia * precoFipe * (ipcaAcumuladoPercentual + 2.08)
/100;
    }
    internal double CalculaLicenciamentoAno(double crlvTaxasAnuais, double
fatorDistancia)
    {
        return crlvTaxasAnuais * fatorDistancia;
    }
    internal double CalculaSeguroAno(double seguroAnual, double
fatorDistancia)
    {
        return seguroAnual * fatorDistancia;
    }
    internal double CalculaVistoriaAno(double vistoria, double fatorDistancia)
    {
        return vistoria * fatorDistancia;
    }
    internal double CalculaDasAno(int tipoContrato, double dasSimplesNacional,
double fatorDistancia)
    {
        return tipoContrato == TipoContratoMei ? dasSimplesNacional *
fatorDistancia : 0;
    }
    internal double CalculaLicenciamentoESegurosAno(double ipva, double
licenciamento, double seguro, double vistoria, double src, double das)
    {
        return ipva + licenciamento + seguro + vistoria + src + das;
    }
    internal double CalculaAdesivagemAno(double areaM2, double precoM2, double
fatorDistancia, int mesesOperacaoAno, int tempoContratoMeses)
    {
        return areaM2 * precoM2 * fatorDistancia * mesesOperacaoAno /
tempoContratoMeses;
    }
    internal double CalculaRastreamentoAno(double precoMensal, double
fatorDistancia, int mesesOperacaoAno)
    {
        return precoMensal * fatorDistancia * mesesOperacaoAno;
    }
    internal double CalculaTacografoAno(double precoMensal, double
fatorDistancia, int mesesOperacaoAno)
    {
        return precoMensal * fatorDistancia * mesesOperacaoAno;
    }
    internal double CalculaApropriacaoReservaTecnicaAno(
double fatorApropriacao,

```

```

        double depreciacaoAnualMedia,
        double remuneracaoCapitalInvestidoAnual,
        double licenciamentoSeguroAnual,
        double adesivagemAnual,
        double rastreamentoAnual,
        double tacografoAnual
    )
    {
        return fatorApropriacao/100 * (depreciacaoAnualMedia +
remuneracaoCapitalInvestidoAnual + licenciamentoSeguroAnual + adesivagemAnual
+ rastreamentoAnual + tacografoAnual);
    }
    internal double CalculaSeguroResponsabilidadeCivil(
        int duracaoContratoMeses,
        int mesesOperacaoAno,
        int tipoVeiculo,
        int anoFabricacao,
        double coeficienteSeguro,
        double fatorDistancia,
        List<Depreciacao> TabelaDepreciacao
    )
    {
        var idadeVeiculo = DateTime.Now.Year - anoFabricacao;
        var duracaoContratoAnos =
(int)Math.Ceiling((double)duracaoContratoMeses / mesesOperacaoAno);
        var valorSeguro = 0.0;
        if (tipoVeiculo < 3)
        {
            for (int i = idadeVeiculo; i < idadeVeiculo + duracaoContratoAnos;
i++)
            {
                var depreciacao = TabelaDepreciacao.SingleOrDefault(e =>
e.TipoVeiculo == tipoVeiculo && e.Idade == i)?.DepreciacaoAnual
                    ?? TabelaDepreciacao.SingleOrDefault(e =>
e.TipoVeiculo == tipoVeiculo && e.Idade == 25)?.DepreciacaoAnual
                    ?? 0;
                valorSeguro += depreciacao;
            }
        }
        else return 960;
        return fatorDistancia * valorSeguro / duracaoContratoAnos *
coeficienteSeguro;
    }
    internal double CalculaImplementosAno(
        double adeisvagemAnual,
        double rastreamentoAnual,
        double tacografoAnual,

```

```

        double apropriacaoReservaTecnicaAnual
    )
    {
        return adeisvagemAnual + rastreamentoAnual + tacografoAnual +
apropriacaoReservaTecnicaAnual;
    }
    internal double CalculaCombustivel(double precoCombustivel, double
autonomia)
    {
        return precoCombustivel / autonomia;
    }
    internal double CalculaLavagem(double precoLavagem, double
periodicidadeLavagem)
    {
        return precoLavagem / periodicidadeLavagem;
    }

    internal double CalculaManutencaoMaoObra(double coeficienteMaoObra, double
pisoSalarialMotorista)
    {
        return coeficienteMaoObra * pisoSalarialMotorista;
    }
    internal double CalculaBDI(int tipoContrato, List<Bdi> Bdis)
    {
        var despesasIndiretas = Bdis.Where(e=>e.Grupo.ReplaceLineEndings(""))
== "Despesas Indiretas").Sum(e=>e.TaxaPorcentagem/100) + 1;
        var despesasFinanceiras = Bdis.Where(e=>e.Grupo.ReplaceLineEndings(""))
== "Despesa Financeira").Sum(e=>e.TaxaPorcentagem/100) + 1;
        var lucro = Bdis.Where(e=>e.Grupo.ReplaceLineEndings("")) ==
"Lucro").Sum(e=>e.TaxaPorcentagem/100) + 1;
        var taxasTributos = tipoContrato == TipoContratoMei ? 1 :
Bdis.Where(e=>e.Grupo.ReplaceLineEndings("")) == "Taxas e
Tributos").Sum(e=>e.TaxaPorcentagem/-100) + 1;
        return 100 * (despesasIndiretas * lucro * despesasFinanceiras /
taxasTributos -1);
    }
    internal (double, double, double, double, double, double)
CalculaCustosFixos(
        double remuneracaoMotoristaAno,
        double remuneracaoMonitorAno,
        double implementosAno,
        double remuneracaoCapitalInvestidoAno,
        double depreciacaoAnualMedia,
        double licenciamentoSeguroAnual,
        int mesesOperacaoAno,
        int diasLetivosAno,
        double percentualBdi

```

```

    )
    {
        var custoFixoAnual = remuneracaoMotoristaAno + remuneracaoMonitorAno +
implementosAno +
                                remuneracaoCapitalInvestidoAno +
depreciacaoAnualMedia + licenciamentoSeguroAnual;
        var custoFixoAnualBdi = custoFixoAnual * (1 + percentualBdi / 100);
        var custoFixoMensal = custoFixoAnual / mesesOperacaoAno;
        var custoFixoMensalBdi = custoFixoMensal * (1 + percentualBdi / 100);
        var custoFixoDiario = custoFixoAnual / diasLetivosAno;
        var custoFixoDiarioBdi = custoFixoDiario * (1 + percentualBdi / 100);
        return (
            custoFixoAnual,
            custoFixoAnualBdi,
            custoFixoMensal,
            custoFixoMensalBdi,
            custoFixoDiario,
            custoFixoDiarioBdi
        );
    }

    internal (double, double, double, double, double, double, double, double)
CalculaCustosVariaveis(
    double custoPneusKm,
    double custoCombustivelKm,
    double custoManutencaoKm,
    double custoLubrificacaoKm,
    double custoLavagemKm,
    double taxaBdi,
    double distanciaPercorridaCorrigida,
    int diasLetivosAno,
    int mesesOperacaoAno
)
    {
        var custoVariavelKm = custoPneusKm + custoCombustivelKm +
custoManutencaoKm + custoLubrificacaoKm + custoLavagemKm;
        var custoVariavelKmbdi = custoVariavelKm * (1 + taxaBdi / 100);
        var custoVariavelDia = custoVariavelKm * distanciaPercorridaCorrigida;
        var custoVariavelAno = custoVariavelDia * diasLetivosAno;
        var custoVariavelMes = custoVariavelAno / mesesOperacaoAno;
        var custoVariavelDiaBdi = custoVariavelKmbdi *
distanciaPercorridaCorrigida;
        var custoVariavelAnoBdi = custoVariavelDiaBdi * diasLetivosAno;
        var custoVariavelMesBdi = custoVariavelAnoBdi / mesesOperacaoAno;
        return (custoVariavelKm, custoVariavelKmbdi, custoVariavelAno,
custoVariavelMes, custoVariavelDia, custoVariavelAnoBdi, custoVariavelMesBdi,
custoVariavelDiaBdi);
    }

```

```

}

internal (double, double, double, double) CalculaCustosTotais(
    double custoFixoAnualBdi,
    double custoVariavelAnualBdi,
    double custoFixoMensalBdi,
    double custoVariavelMensalBdi,
    double custoFixoDiarioBdi,
    double custoVariavelDiarioBdi,
    int duracaoTotalContratoMeses
)
{
    var custoTotalAnualBdi = custoFixoAnualBdi + custoVariavelAnualBdi;
    var custoTotalMensalBdi = custoFixoMensalBdi + custoVariavelMensalBdi;
    var custoTotalDiarioBdi = custoFixoDiarioBdi + custoVariavelDiarioBdi;
    var custoTotalContratoBdi = custoTotalMensalBdi *
duracaoTotalContratoMeses;
    return (
        custoTotalAnualBdi,
        custoTotalMensalBdi,
        custoTotalDiarioBdi,
        custoTotalContratoBdi
    );
}

internal double CalculaLubrificacao(
    double oleoMotorL,
    double coeficienteOleoMotor,
    double oleoCaixa,
    double coeficienteOleoCaixa,
    double oleoDiferencial,
    double coeficienteOleoDiferencial,
    double fluidoFreio,
    double coeficienteFluidoFreio,
    double graxa,
    double coeficienteGraxa,
    double fatorDistancia)
{
    return fatorDistancia * (oleoMotorL * coeficienteOleoMotor
        + oleoCaixa * coeficienteOleoCaixa
        + oleoDiferencial *
coeficienteOleoDiferencial
        + fluidoFreio * coeficienteFluidoFreio
        + graxa * coeficienteGraxa
    );
}

```

```

        internal double CalculaManutencaoPecas(int tipoVeiculo, int anoFabricacao,
List<Manutencao> Manutencoes, List<Depreciacao> TabelaDepreciacao)
        {
            var precoVeiculoZero = TabelaDepreciacao.Single(e => e.TipoVeiculo ==
tipoVeiculo && e.Idade == 0).ValorVenal;
            int idadeVeiculo = DateTime.Now.Year - anoFabricacao;
            var coeficienteManutencao = Manutencoes.FirstOrDefault(e =>
e.LimiteFaixaEtaria >= idadeVeiculo)?.CoeficienteConsumo ??
Manutencoes.Last().CoeficienteConsumo;
            return precoVeiculoZero * coeficienteManutencao;
        }
    }
}
public class CalculosFluviais : Calculos
{
    private List<FormulaDepreciacao> FormulasDepreciacaoCasco;
    private List<FormulaDepreciacao> FormulasDepreciacaoMotor;
    private List<Depreciacao> TabelaDepreciacaoCasco = new();
    private List<ParametrosMunicipaisVeicularFluvial>
ParametrosMunicipaisVeicularesFluviais;
    private List<TipoEmbarcacao> TiposEmbarcacao;
    public CalculosFluviais(int municipio, int requisicao = -1 ) :
base(municipio, requisicao)
    {
        using var db = new Transcolar();
        ParametrosMunicipaisVeicularesFluviais =
db.ParametrosMunicipaisVeicularesFluviais.Where(e => e.Municipio ==
municipio).ToList();
        FormulasDepreciacaoCasco = db.FormulasDepreciacao.FromSqlRaw("SELECT *
FROM formulas_depreciacao_casco").ToList();
        TiposEmbarcacao = db.TiposEmbarcacao.ToList();
        foreach (var pmv in ParametrosMunicipaisVeicularesFluviais)
        {
            TabelaDepreciacaoCasco.AddRange(GerarDepreciacao(FormulasDepreciac
aoCasco, pmv.TipoEmbarcacao, pmv.AnoFabricacaoCascoParadigma,
pmv.PrecoCasco));
        }
        Beneficios = db.Beneficios.FromSqlRaw("SELECT * FROM
beneficios_fluvial WHERE municipio = {0}", municipio).ToList();
        Manutencoes = db.Manutencoes.FromSqlRaw("SELECT * FROM
manutencoes_fluvial").ToList();
    }

    public CustoSaida CalculaViagem(ViagemDTO viagem, double fatorTempo = 1)
    {
        //Calcula tempo a partir da distancia e do numero de paradas
    }
}

```

```

//Executa validações dos parametros de entrada
if (viagem.Duracao <= 0)
    throw new Exception("Duração deve ser maior que zero");
var parametrosMunicipaisVeicular =
    ParametrosMunicipaisVeicularesFluviais.SingleOrDefault(e =>
e.TipoEmbarcacao == viagem.TipoVeiculo);
if(parametrosMunicipaisVeicular == null)
    throw new Exception("Parametros municipais veiculares não
encontrado");
var tipoEmbarcacao =
    TiposEmbarcacao.SingleOrDefault(e => e.Id == viagem.TipoVeiculo);
if(tipoEmbarcacao == null)
    throw new Exception("Tipo de embarcacao não encontrado");
if (ParametrosMunicipais == null)
    throw new Exception("Parametros municipais não encontrados");
var custosSaida = new CustoSaida()
{
    TipoContrato = viagem.TipoContrato,
    Municipio = Municipio,
    Requisicao = Requisicao,
    Viagem = viagem.Seq,
};
//Beneficios (separado do rodoviário)
custosSaida.BeneficiosMes =
CalculaBeneficios(Beneficios.Select(e=>e.Valor).ToArray(), fatorTempo);
//Encargos sociais (igual do rodoviário)
custosSaida.EncargosSociaisPercentual =
CalculaEncargosSociaisPercentual(viagem.TipoContrato);
//Remuneração motorista anual (igual mas tabelas diferentes)
custosSaida.RemuneracaoMotoristaAno = CalculaRemuneracaoAno(
    custosSaida.BeneficiosMes,
    custosSaida.EncargosSociaisPercentual,
    parametrosMunicipaisVeicular.SalarioPilotoMes,
    fatorTempo,
    parametrosMunicipaisVeicular.MesesOperacaoAno
);
//Remuneração monitor anual (igual mas tabelas diferentes)
custosSaida.RemuneracaoMonitorAno = viagem.QuantidadeMonitores *
CalculaRemuneracaoAno(
    custosSaida.BeneficiosMes,
    custosSaida.EncargosSociaisPercentual,
    parametrosMunicipaisVeicular.SalarioMonitorMes,
    fatorTempo,
    parametrosMunicipaisVeicular.MesesOperacaoAno
);
//Calcula depreciação anual média Tirar depreciacao do motor
custosSaida.DepreciacaoAnualMedia = CalculaDepreciacao(

```

```

ratoMeses,
esesOperacaoAno,

TabelaDepreciacaoCasco,
ParametrosMunicipais.TempoCont

parametrosMunicipaisVeicular.M

viagem.TipoVeiculo,
viagem.AnoFabricacao,
fatorTempo
);
//Remuneracao Capital investido Remover remuneracao capital do motor
custosSaida.RemuneracaoCapitalInvestidoAno =
CalculaRemuneracaoCapitalAno(
    parametrosMunicipaisV
    eicular.PrecoCasco,
    ParametrosMunicipais.
    IpcacAcumulado12Meses,
    fatorTempo
);

//Calcula IPVA anual
custosSaida.IpvaAnual = 0;
//Licenciamento anual
custosSaida.LicenciamentoAnual = 0;
//Seguro DPVAT anual
custosSaida.SeguroDpvatAnual = 0;
//Vistoria DETRAN anual
custosSaida.VistoriaDetranAnual = CalculaVistoriaAno(
    parametrosMunicipaisVeicular.VistoriaMarinha,
    fatorTempo
);
//Seguro só casco
custosSaida.SeguroResponsabilidadeCivilAnual =
CalculaSeguroResponsabilidadeCivil(
    ParametrosMunicipais.TempoContratoMeses,
    parametrosMunicipaisVeicular.MesesOperacaoAno,
    viagem.TipoVeiculo,
    viagem.AnoFabricacao,
    tipoEmbarcacao.CoefficienteSeguro,
    fatorTempo,
    TabelaDepreciacaoCasco
);
//DAS anual
custosSaida.DasAnual = CalculaDasAno(
    viagem.TipoContrato,
    ParametrosMunicipais.DasSimplesNacional,
    fatorTempo
);
//Licenciamento e seguro anual

```

```

        custosSaida.LicenciamentoSeguroAnual =
CalculaLicenciamentoESegurosAno(
            custosSaida.IpvaAnual,
            custosSaida.LicenciamentoAnual,
            custosSaida.SeguroDpvatAnual,
            custosSaida.VistoriaDetranAnual,
            custosSaida.SeguroResponsabilidadeCivilAnual,
            custosSaida.DasAnual
        );
//Adesivagem anual
custosSaida.AdesivagemAnual = CalculaAdesivagemAno(
    parametrosMunicipaisVeicular.AreaAdesivagemM2,
    ParametrosMunicipais.PrecoAdesivagemM2,
    fatorTempo,
    parametrosMunicipaisVeicular.MesesOperacaoAno,
    ParametrosMunicipais.TempoContratoMeses
);
//RastreamentoAno
custosSaida.RastreamentoAnual = CalculaRastreamentoAno(
    ParametrosMunicipais.ServicoRastreamentoMes,
    fatorTempo,
    parametrosMunicipaisVeicular.MesesOperacaoAno
);
//TacografoAno
custosSaida.TacografoAnual = 0;
//Apropriação reserva técnica anual
custosSaida.AropriacaoReservaTecnicaAnual =
CalculaApropriacaoReservaTecnicaAno(
    ParametrosMunicipais.AropriacaoReservaTecnica,
    custosSaida.DepreciacaoAnualMedia,
    custosSaida.RemuneracaoCapitalInvestidoAno,
    custosSaida.LicenciamentoSeguroAnual,
    custosSaida.AdesivagemAnual,
    custosSaida.RastreamentoAnual,
    custosSaida.TacografoAnual
);
//Implementos anual
custosSaida.ImplementosAno = CalculaImplementosAno(
    custosSaida.AdesivagemAnual,
    custosSaida.RastreamentoAnual,
    custosSaida.TacografoAnual,
    custosSaida.AropriacaoReservaTecnicaAnual
);
//Custos variaveis (TUDO POR HORA E NAO POR KM)
//Rodagem do motor (preco do motor / vida util do motor) TODO
custosSaida.CustoPneusKm = CalculaMotor(
    parametrosMunicipaisVeicular.PrecoMotor,

```

```

        parametrosMunicipaisVeicular.VidaUtilMotor
    );
    //Lavagem
    custosSaida.CustoLavagemKm = CalculaLavagem(
        parametrosMunicipaisVeicular.PrecoSaidaLavagemUnitario,
        parametrosMunicipaisVeicular.PeriodicidadeLavagem
    );
    //Combustivel
    custosSaida.CustoCombustivelKm = CalculaCombustivel(
        TiposCombustiveis.Single(e => e.Seq ==
parametrosMunicipaisVeicular.TipoCombustivel).Preco,
        parametrosMunicipaisVeicular.AutonomiaHL
    );
    //Manutencao TODO colocar distancia media da frota (casco + motor) -->
coeficiente é por ano, jogar para horas
    custosSaida.CustoManutencaoKm = CalculaManutencaoMaoObra(
        tipoEmbarcacao.CoeficienteManutencao /
ParametrosMunicipais.DiasLetivosAno / viagem.Duracao,
        parametrosMunicipaisVeicular.SalarioPilotoMes
    );
    //Lubrificacao
    custosSaida.CustoLubrificacaoKm = CalculaLubrificacao(
        ParametrosMunicipais.OleoMotorL,
        tipoEmbarcacao.CoeficienteOleoMotor,
        ParametrosMunicipais.OleoCaixaL,
        0,
        ParametrosMunicipais.OleoDiferencialL,
        0,
        ParametrosMunicipais.FluidoFreioL,
        0,
        ParametrosMunicipais.GraxaKg,
        tipoEmbarcacao.CoeficienteGraxa,
        fatorTempo
    );
    //Bdi (IGUAL DO RODOVIARIO MESMA TABELA)
    custosSaida.PercentualBdi = CalculaBDI(viagem.TipoContrato, Bdis);
    //Custos fixos
    (
        custosSaida.CustoFixoAnual,
        custosSaida.CustoFixoAnualBdi,
        custosSaida.CustoFixoMensal,
        custosSaida.CustoFixoMensalBdi,
        custosSaida.CustoFixoDiario,
        custosSaida.CustoFixoDiarioBdi
    ) = CalculaCustosFixos(
        custosSaida.RemuneracaoMotoristaAno,
        custosSaida.RemuneracaoMonitorAno,

```

```

        custosSaida.ImplementosAno,
        custosSaida.RemuneracaoCapitalInvestidoAno,
        custosSaida.DepreciacaoAnualMedia,
        custosSaida.LicenciamentoSeguroAnual,
        parametrosMunicipaisVeicular.MesesOperacaoAno,
        ParametrosMunicipais.DiasLetivosAno,
        custosSaida.PercentualBdi
    );
    //Custos variaveis
    (
        custosSaida.CustoVariavelKm,
        custosSaida.CustoVariavelKmBdi,
        custosSaida.CustoVariavelAnual,
        custosSaida.CustoVariavelMensal,
        custosSaida.CustoVariavelDiario,
        custosSaida.CustoVariavelAnualBdi,
        custosSaida.CustoVariavelMensalBdi,
        custosSaida.CustoVariavelDiarioBdi
    ) = CalculaCustosVariaveis(
        custosSaida.CustoPneusKm,
        custosSaida.CustoCombustivelKm,
        custosSaida.CustoManutencaoKm,
        custosSaida.CustoLubrificacaoKm,
        custosSaida.CustoLavagemKm,
        custosSaida.PercentualBdi,
        viagem.Duracao,
        ParametrosMunicipais.DiasLetivosAno,
        parametrosMunicipaisVeicular.MesesOperacaoAno
    );
    //Custos totais
    (
        custosSaida.CustoTotalAnualBdi,
        custosSaida.CustoTotalMensalBdi,
        custosSaida.CustoTotalDiarioBdi,
        custosSaida.CustoTotalContratoBdi
    ) = CalculaCustosTotais(
        custosSaida.CustoFixoAnualBdi,
        custosSaida.CustoVariavelAnualBdi,
        custosSaida.CustoFixoMensalBdi,
        custosSaida.CustoVariavelMensalBdi,
        custosSaida.CustoFixoDiarioBdi,
        custosSaida.CustoVariavelDiarioBdi,
        ParametrosMunicipais.TempoContratoMeses
    );
    return custosSaida;
}

```

```
private double CalculaMotor(double precoMotor, double vidaUtilMotor)
{
    return precoMotor / vidaUtilMotor;
}
}
```