



UFOP

Universidade Federal
de Ouro Preto

Universidade Federal de Ouro Preto
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Departamento de Engenharia de Produção



UM ESTUDO DE LOCALIZAÇÃO DE NOVAS INSTALAÇÕES PORTUÁRIAS FLUVIAIS PÚBLICAS DE PEQUENO E MÉDIO PORTE (IP4) NO ESTADO DO AMAZONAS

MATHEUS MONTALVÃO DE QUEIROZ

João Monlevade MG
2021

MATHEUS MONTALVÃO DE QUEIROZ

UM ESTUDO DE LOCALIZAÇÃO DE NOVAS INSTALAÇÕES PORTUÁRIAS FLUVIAIS PÚBLICAS DE PEQUENO E MÉDIO PORTE (IP4) NO ESTADO DO AMAZONAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau em Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof^a. D.ra Mônica do Amaral

João Monlevade - MG
2021

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

Q384e Queiroz, Matheus Montalvao de .
Um estudo de localização de novas instalações portuárias fluviais
públicas de pequeno e médio porte(IP4) no Estado do Amazonas.
[manuscrito] / Matheus Montalvao de Queiroz. - 2021.
66 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Mônica do Amaral.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Graduação em Engenharia de
Produção .

1. Áreas portuárias. 2. Hidrovias. 3. Transporte de carga - Custo. 4.
Transporte - Trânsito de passageiros - Custo. I. Amaral, Mônica do. II.
Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 658.5

Bibliotecário(a) Responsável: Flavia Reis - CRB6-2431



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - ICEA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Matheus Montalvão de Queiroz

Um estudo de localização de novas instalações portuárias fluviais públicas de pequeno e médio porte (IP4) no estado do Amazonas

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção

Aprovada em 30 de Agosto de 2021, com nota 9,0 (nove vírgula zero).

Membros da banca

Dra. Mônica do Amaral - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)
Dr. Alexandre Xavier Martins - (Universidade Federal de Ouro Preto)
Dr. Gilberto de Miranda Júnior - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Mônica do Amaral, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 10/09/2021.



Documento assinado eletronicamente por **Monica do Amaral, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/09/2021, às 20:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0219417** e o código CRC **2410E7C7**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.009455/2021-11

SEI nº 0219417

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000
Telefone: - www.ufop.br

Agradecimentos

Nada é por acaso ou simplesmente "cai do céu", nunca foi fácil trilhar um futuro melhor e é impossível conquistar tudo sozinho. Dedico minhas vitórias aos meus pais e minha irmã e desta vez não será diferente. Sempre estiveram comigo a todo custo com muito apoio. Aos meus amigos em especial, aos meus irmãos da República DuBodi, que minimizaram todos esses anos a dor de estar longe de casa e me deram um segundo lugar para chamar de lar. E quero agradecer a Prof^ª. Dr^ª. Monica do Amaral, não só porque me orientou nesses passos tão difíceis, mas também porque teve paciência, persistência e acima de tudo um carinho que me ajudou a seguir até aqui. Por fim, agradeço a UFOP e seus professores e funcionários que fizeram parte de um vida comigo em João Monlevade.

Resumo

A região amazônica apresenta grande dependência no transporte hidroviário, tanto para o transporte de passageiros quanto para o transporte de produtos. O presente estudo trata do problema de localização de Instalações Portuárias de Pequeno e Médio Porte (IP4) na região amazônica, especificamente no estado do Amazonas. Foram utilizados modelos de localização de vértices com fluxo mono e multiproduto e o modelo de p -facilidades para a análise de três cenários, que incluem a rede logística atual, a abertura de novas IP4s previstas pelo Governo Federal e a possibilidade de aumento da capacidade das IP4's já instaladas. Os resultados computacionais mostram a importância de se planejar bem os fluxos do interior do estado, mostrando relações entre custos fixos de abertura das IP4's e os custos variáveis de transporte de cargas ou passageiros, em direção a Manaus e como a integração hidroviária pode auxiliar no desenvolvimento econômico e social da região. O cenário proposto pelos projetos do Governo Federal é eficiente na redução dos custos de transporte de cargas e passageiros, fazendo uma boa ligação hidroviária das cidades candidatas para Manaus. As cidades de Eirunepé e Borba são aquelas que apresentam maior potencial de abertura, sendo a primeira mais importante para o transporte de produtos e a segunda para o transporte de passageiros. A capacidade da IP4 de Humaitá é a única que apresenta necessidade de aumento, considerando as demandas atuais.

Palavras-chave: IP4. Problema de Localização. Custo de Transporte. Rede de Transporte. Instalação Portuária. Hidrovias.

Abstract

The Amazon region is highly dependent on waterway transport, both for the transportation of passengers and products. The present study deals with the problem of locating Small and Medium Port Facilities (IP4) in the Amazon region, specifically in the state of Amazonas. Vertex location models with mono- and multi-product flow and the p -facility model were used to analyze three scenarios, which include the current logistics network, the opening of new IP4s envisioned by the Federal Government, and the possibility of increasing the capacity of the already installed IP4s. The computational results show the importance of well planning the flows from the interior of the state, showing relationships between fixed costs of opening the IP4s and the variable costs of transporting cargo or passengers in the direction of Manaus and how waterway integration can assist in the economic and social development of the region. The scenario proposed by the Federal Government projects is efficient in reducing freight and passenger transportation costs, making a good waterway connection from the candidate cities to Manaus. The cities of Eirunepé and Borba are those with the greatest opening potential, the former being more important for product transportation and the latter for passenger transportation. The capacity of the IP4 of Humaitá is the only one that needs to be increased, considering the current demands.

Keywords: IP4. Location Problem. Transportation cost. Transport Network. Port Installation. Waterways.

Lista de Ilustrações

Figura 1.1 – Mapa da hidrovia do Amazonas. Fonte: ANTAQ (2017)	1
Figura 1.2 – Evolução do volume de cargas transportadas em vias interiores no Brasil em toneladas. Fonte: CNT (2019)	4
Figura 1.3 – Custo de transporte por distância percorrida por volume transportado. Fonte: CNT (2019)	5
Figura 2.1 – BR - 319 A Rodovia Transamazônica. Fonte: Portal G1 (2018)	10
Figura 2.2 – Embarcação de Recreio para Transporte de Passageiros. Fonte: Portal G1 (2018)	11
Figura 3.1 – Sequência Metodológica. Fonte: O autor (2021).	14
Figura 4.1 – Fases e Processos do Estudo de PO. Fonte: Palomares (2016)	16
Figura 4.2 – Nós e Arcos de uma Rede. Fonte: Collin (2013)	17
Figura 4.3 – Exemplo de Rede Logística de uma empresa. Fonte: Palomares (2016) . . .	17
Figura 4.4 – Ilustração e Resumo da Rede do Problema. Fonte: O autor (2021).	19
Figura 4.5 – Rede em Equilíbrio. Fonte: O autor (2021).	19
Figura 5.1 – Localização das Cidades com e sem IP4 Instalada: O autor (2021).	24
Figura 5.2 – Participação dos Produtos na Demanda de Manaus.O autor (2021).	26
Figura 6.1 – Rede Logística para o Cenário Atual. Fonte: ANTAQ (2019) e adaptado pelo autor (2021).	37
Figura 6.2 – Mapa da Rede Logística para o Cenário 2. Fonte: ANTAQ (2019) e adaptado pelo autor (2021).	40
Figura 6.3 – Mapa da Rede Logística para o Cenário 3. Fonte: ANTAQ (2019) e adaptado pelo autor (2021).	44
Figura 6.4 – Gráfico: Número de IP4's Abertas X Custo de Transporte de Cargas. Fonte: O autor (2021).	48
Figura 6.5 – Gráfico: Número de IP4's Abertas X Custo de Transporte de Passageiros. Fonte: O autor (2021).	49

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Demanda de Manaus em Toneladas por Ano	8
Tabela 2.2 – Cidades com IP4's Operantes e Cidades Candidatas a Novas IP4's.	13
Tabela 5.1 – Demanda de Manaus em Toneladas por Ano	27
Tabela 5.2 – Principais Linhas de Transporte de Passageiros e o Modal Utilizado	29
Tabela 5.3 – Principais Linhas de Transporte de Passageiros e o Modal Utilizado	30
Tabela 5.4 – Principais Linhas de Transporte de Passageiros e o Modal Utilizado	32
Tabela 5.5 – Principais Linhas de Transporte de Passageiros e o Modal Utilizado no Cenário 2	34
Tabela 5.6 – Principais Linhas de Transporte de Passageiros e o Modal Utilizado no Cenário 3	35
Tabela 6.1 – Produção Transportada para Manaus no Cenário 1	38
Tabela 6.2 – Fluxo de Passageiros e Principais Linhas	39
Tabela 6.3 – Produção Transportada para Manaus no Cenário 2	41
Tabela 6.4 – Fluxo de Passageiros e Principais Linhas no Cenário 1	42
Tabela 6.5 – Produção Transportada para Manaus no Cenário 3	43
Tabela 6.6 – Fluxo de Passageiros e Principais Linhas no Cenário 3	45
Tabela 6.7 – Custo Total por Cenário para o Transporte de Produto	46
Tabela 6.8 – Custo Total por Cenário para o Transporte de Passageiros	46
Tabela 6.9 – Custo Total de Transporte de Produtos por Cenário	47
Tabela 6.10–Custo Total de Transporte de Passageiros por Cenário	47
Tabela 6.11–Número de IP4' Abertas em Relação ao Custo de Transporte de Cargas	47
Tabela 6.12–Número de IP4' Abertas em Relação ao Custo de Transporte de Passageiros	48
Tabela 6.13–Tabela com as Reduções de Custo de Transporte para Pasageiros e Produtos por Cidade Candidata	49

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Objetivos	3
1.1.1	Objetivos Gerais	3
1.1.2	Objetivos Específicos	3
1.2	Justificativa	3
1.2.1	Crescimento do Transporte	3
1.2.2	Dependência da população	4
1.2.3	Vantagens do Modal Hidroviário e a Navegação de Interior no Brasil	4
1.3	Estrutura do Trabalho	6
2	Instalações Portuárias no Amazonas	7
2.1	O Transporte Fluvial no Estado do Amazonas	7
2.2	O Agronegócio no Amazonas e a Importância das Hidrovias para a Produção	8
2.3	A população Amazonense e a dependência das hidrovias	10
2.4	IP4 - Instalações Portuárias Públicas de Pequeno e Médio Porte	12
2.4.1	Investimento e a Logística Portuária do Estado do Amazonas	13
3	Metodologia de Pesquisa	14
3.1	Procedimento Metodológico	14
4	Projeto de Redes Logísticas	16
4.1	Modelagem em Redes de Transportes	16
4.2	Problema de Localização, Transporte e Transbordo	18
4.2.1	Modelagem	18
4.2.2	Localização de vértices monoproduto	20
4.2.3	p -facilidades	21
4.2.4	Localização em vértices com custos fixos multiproduto	23
5	Definição dos Cenários para Análise	24
5.1	As Características da Rede Logística	24
5.2	Transporte de Produtos	25
5.2.1	Situação da Rede Logística das Cidades Envolvidas	25
5.2.2	Capacidade de Produção e Armazenamento – Principais Produtos da Região	26
5.2.3	Demanda	26
5.3	Transporte de Passageiros	28
5.3.1	Situação da Rede Logística para o Transporte de Passageiros	28
5.3.2	Fluxo de Passageiros para Manaus por Cidade	30
5.3.3	Demanda de Passageiros	31
5.4	Custos Logísticos	31

5.5	Proposta de Cenários	32
5.5.1	Cenário 1 – Rede Atualmente Instalada	33
5.5.2	Cenário 2 - abertura de todas as IP4' planejadas	33
5.5.3	Cenário 3 - aumento de capacidade para IP4's específicas:	34
6	Resultados Computacionais	36
6.1	Resultados do Cenário 1	36
6.1.1	Transporte de Produtos para o Cenário 1	37
6.1.2	Transporte de Passageiros para o Cenário 1	39
6.2	Resultados do Cenário 2	40
6.2.1	Transporte de Produtos para o Cenário 2	41
6.2.2	Transporte de Passageiros para o Cenário 2	42
6.3	Resultados do Cenário 3	43
6.3.1	Transporte de Produtos para o Cenário 3	43
6.3.2	Transporte de Passageiros para o Cenário 3	45
6.4	Análise Comparativa	46
6.4.1	Para o Modelo de Localização de Vértices com Mono e Multiproduto	46
6.4.2	Para o Modelo de p - facilidades	47
7	Considerações Finais	51
7.1	Conclusão	51
7.2	Trabalhos Futuros	52
	Referências	53
	Apêndices	55
	APÊNDICE A Quantidade em Toneladas dos Produtos Ofertados por Cidade	56

1 Introdução

Segundo o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH, 2019), a malha hidroviária brasileira está dividida em 12 regiões, sendo que a Região Hidrográfica do Amazonas ocupa 45% de todo território nacional, abrangendo os estados do Acre, Amazonas, Amapá, Mato Grosso, Pará, Roraima e Rondônia. Em se tratando do transporte de cargas, a hidrovia é a principal via de transporte e escoamento, sendo responsável por 65% do total transportado na região Norte.

O complexo Solimões-Amazonas, por ser navegável em praticamente todos seus afluentes, possui 1646 km de extensão entre o estado do Pará e a cidade de Manaus. A hidrovia possui uma importância significativa para o comércio interno e externo da região e, de acordo a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ, 2019), há uma movimentação de cargas de 50 milhões de toneladas por ano. Tendo a cabotagem como principal tipo de navegação, possui mais de 70 terminais e portos ao longo da hidrovia, onde são transportados diversos produtos regionais.

Além do transporte de cargas, o transporte hidroviário é o principal meio de locomoção na Região Norte do Brasil, com uma malha hidroviária superior a 16 mil quilômetros, a maior parte das grandes cidades possuem trechos de rios que as alimentam. Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, cerca de 9% da população brasileira se encontra na Região Norte e desse total 26% encontram-se na zona rural, onde se deslocam diariamente para as grandes cidades através dos rios. A Figura 1.1 mostra a rede hidroviária do Amazonas.

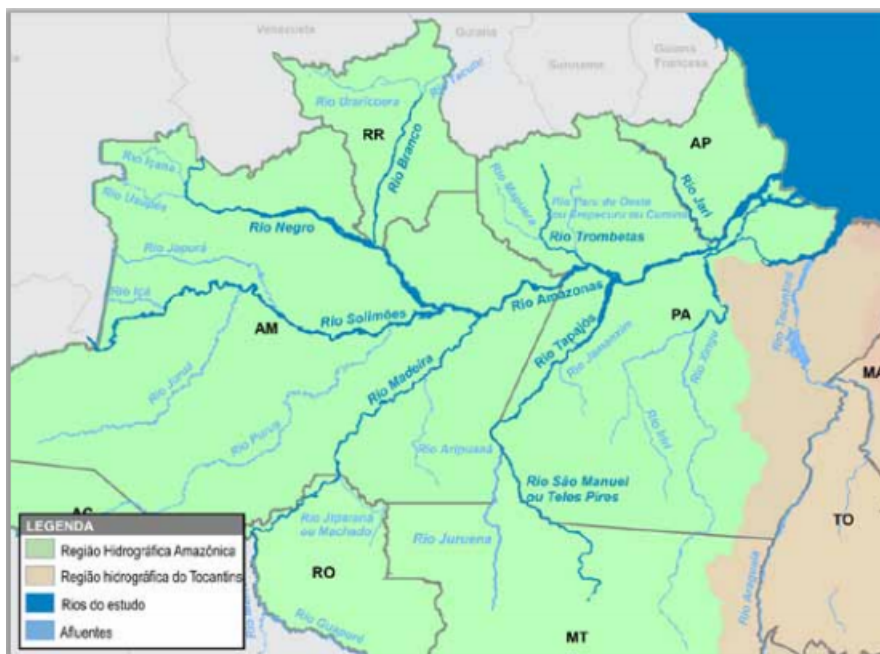


Figura 1.1 – Mapa da hidrovia do Amazonas. Fonte: ANTAQ (2017)

A região onde se situa a Hidrovia do Amazonas possui uma navegabilidade, de acordo com a classificação do Governo Federal, em grande parte da sua extensão, muito boa ou boa, o que mostra o grande potencial do transporte hidroviário na região. Apesar do grande volume de transporte de cargas e da população da região, ainda é necessário se pensar em um transporte mais eficiente e um maior investimento em infraestrutura no modal. Devido a total dependência do modal rodoviário em todo país, os investimentos nas hidrovias ainda são muitos baixos. Segundo (NOVAES et al., 2017) no Brasil, cerca de 66% das cargas são movimentadas pelo modal rodoviário e apenas 13% via cabotagem.

De acordo com (LAURINDO, 2019) esta excessiva concentração de transporte de cargas no modal rodoviário está vinculada à divisão internacional de trabalho e ao modelo de modernização dependente do país. Seguindo a mesma linha de pensamento, (BRANCO; FILHO, 2007) diz que, com o processo de industrialização e da economia brasileira na década de 30, houve uma necessidade de ter uma infraestrutura que fosse de rápida implantação e relativamente mais barata. Com isso, verificou-se um maior investimento no modal rodoviário e uma redução drástica nos investimentos nas demais modalidades de transporte.

Esta configuração das participações dos modais no transporte brasileiro se difere bastante das que são encontradas em outros países de dimensões continentais assim como o Brasil, segundo a Confederação Nacional de Transporte - (CNT, 2019), há uma participação mais elevada do modal rodoviário em países com dimensões menores, como Alemanha, Dinamarca, França e Bélgica e no caso de países com uma maior extensão territorial, como E.U.A, Canadá, Rússia e China observa-se um uso maior dos modais ferroviário e hidroviário devido a necessidade de percorrer grandes distâncias com cargas volumosas e de baixo valor agregado.

Outro ponto importante a se tocar, segundo (NOVAES et al., 2017), é que apesar desta grande dependência do modal rodoviário, o mesmo possui um estado precário, muitas vezes sem condições de traslado ou sem fiscalização adequada, tornando o modal rodoviário uma opção menos atraente para o transporte de produtos e vendo a necessidade de integralizar investimentos em novos modais, no caso deste estudo, um maior investimento nas hidrovias do Amazonas.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos Gerais

Este estudo tem como objetivo analisar melhores alternativas para instalação de novas IP4's para minimização dos custos de transportes dos principais produtos do Estado e também do transporte de passageiros.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Analisar a rede logística do Estado do Amazonas;
- Elaborar um modelo matemático para o problema específico de localização e transporte da região;
- Propor cenários com novas alternativas de instalação das IP4's;
- Comparar o cenário atual do transporte hidroviário na região com os cenários propostos a fim de mostrar a importância de se ter uma melhor estrutura e planejamento nos fluxos de cargas e passageiros no interior Amazonas.

1.2 Justificativa

1.2.1 Crescimento do Transporte

As maiores extensões navegáveis estão localizadas nas regiões hidrográficas Amazônicas, com cerca de 16 mil quilômetros, e apesar de serem utilizadas, possui um potencial ainda maior. Na região, somente em 2018 foi transportado um volume total de quase 63 milhões de toneladas, para entender a importância desta hidrovia, a região hidrográfica Tocantins/Araguaia vem em seguida com o volume de 33,1 milhões de toneladas, quase menos que a metade transportada pela hidrovia da Amazônia. CNT (2019). A Figura 1.2 mostra a evolução do volume de cargas desde do ano de 2010 até o ano de 2018 nas vias interiores no Brasil por região hidrográfica (RH) e nela pode-se observar o grande crescimento da dependência da hidrovia do Amazonas para o transporte de cargas.

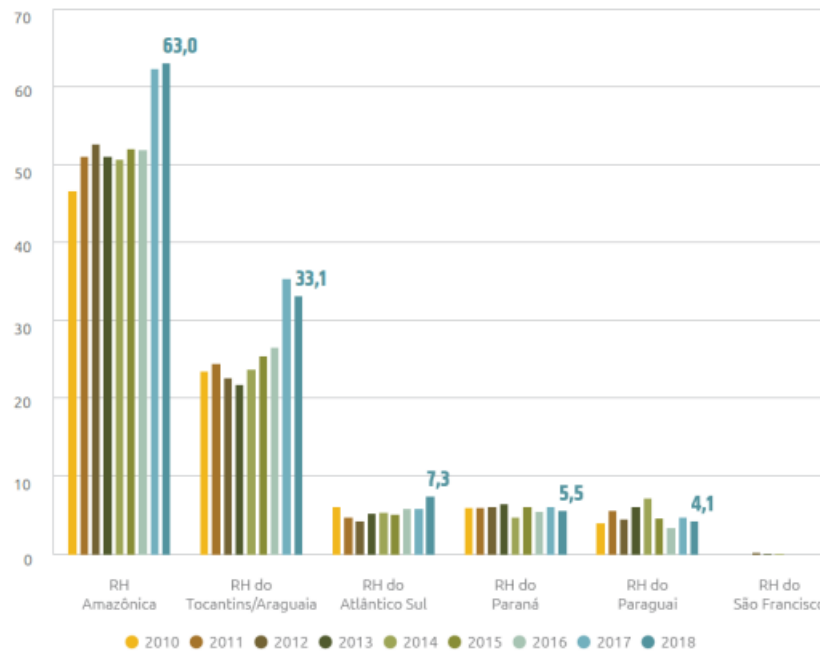


Figura 1.2 – Evolução do volume de cargas transportadas em vias interiores no Brasil em toneladas. Fonte: CNT (2019)

1.2.2 Dependência da população

Segundo dados da CNT, no ano de 2018, foi estimado cerca de 9,8 milhões de passageiros transportados na Amazônia, especificamente nos estados do Amapá, Amazonas, Pará e Rondônia, onde em muitos desses casos os rios são os principais meios de transporte, o que os torna essenciais para o deslocamento e abastecimentos das cidades ribeirinhas.

Como exemplo da importância desses rios para a região, tem-se a cidade de Porto Velho, capital do Estado de Rondônia. Porto Velho está situada à margem do Rio Madeira que por sua vez possui uma grande extensão e é navegável praticamente o ano inteiro. O Rio Madeira corta Porto Velho e devido as características citadas acima, foi crucial para o desenvolvimento regional e a elevação de Porto Velho à capital em 1943, de acordo com Teixeira et al. (2017).

1.2.3 Vantagens do Modal Hidroviário e a Navegação de Interior no Brasil

- Capacidade

A navegação de interior como meio de transporte, possui como principais vantagens a grande capacidade de carregamento, menor custo por tonelada-quilômetro, maior eficiência energética e geralmente baixo custo de implantação, quando é comparada com os outros modais. ANTAQ (2019).

Com estas características, o modal hidroviário poderia ser utilizado para diminuir o fluxo de carga nas rodovias, onde, volumes maiores e com trajetos mais longos seriam direcionados

para as hidrovias, ficando assim para o transporte rodoviário, os trajetos mais curtos, com esta ação, poderia haver uma diminuição nos acidentes rodoviários envolvendo transporte de cargas, além dos riscos econômicos e sociais causados por estes acidentes.

- Custo

Olhando a capacidade de carregamento entre todos os modais de transporte, o modal hidroviário é o que possui o menor custo por tonelada-quilômetro, CNT (2019), porém, para que isto ocorra é necessário um volume suficiente de carga, visto que, os custos fixos como o de infraestrutura e da embarcação são elevados, o que torna inviável o transporte de pequenos volumes de carga. Caso ocorra a lotação, o modal hidroviário pode possuir um frete em torno de 40% do frete rodoviário e 70% do frete ferroviário (CNT, 2019). A Figura 1.3 mostra como se comporta os custos de transporte dos modais a medida que a distância varia.

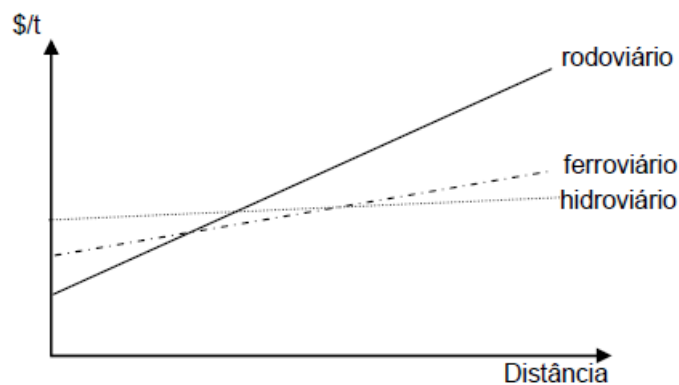


Figura 1.3 – Custo de transporte por distância percorrida por volume transportado. Fonte: CNT (2019)

- Sustentabilidade

O menor custo adicional por quilômetro do modal hidroviário está diretamente relacionado ao seu consumo de combustível, que, por sua vez, tem reflexos na emissão de gases do efeito estufa. De acordo com estudos feitos pela CNT, a utilização da navegação interior é mais eficiente energética e ambientalmente quando comparada com os modais rodoviário e ferroviário.

1.3 Estrutura do Trabalho

O presente estudo foi estruturado em sete capítulos. No primeiro capítulo, apresenta-se uma breve contextualização e a problemática foco para este trabalho e a justificativa para sua escolha, assim como os objetivos geral e específicos.

No segundo capítulo são apresentadas as características da rede portuária no Amazonas, como o transporte por hidrovias, a dependência tanto econômica quanto social das cidades para com o modal hidroviário e uma introdução às Instalações Portuárias de Pequeno e Médio Porte, as IP4's.

O terceiro capítulo mostra como será a sequência metodológica de todo o processo de pesquisa, mostrando as etapas seguidas, necessárias para atingir os objetivos deste trabalho.

O quarto capítulo define e apresenta a formulação matemática utilizada como base para a resolução do problema proposto, assim como o modelo com as alterações necessárias para se adaptar-se ao estudo em questão.

No quinto capítulo, são apresentadas as características do transporte de produtos e de passageiros no cenário atual, como demandas, custos logísticos e principais produtos ofertados pelas cidades. Além disso, são propostos os novos cenários e o diferencial dos mesmos em relação ao cenário atual.

O sexto capítulo engloba todos os resultados obtidos computacionalmente para cada cenário especificado no capítulo anterior, mostrando como as alterações propostas modificaram a rede logística, tanto para o transporte de cargas quando para o fluxo de passageiros no estado do Amazonas.

Por fim, o sétimo capítulo contém as considerações finais e os possíveis trabalhos futuros.

2 Instalações Portuárias no Amazonas

2.1 O Transporte Fluvial no Estado do Amazonas

Os rios na Amazônia têm uma relevância fundamental para o deslocamento de pessoas e cargas em decorrência da própria ausência de outros meios, que possibilitem o deslocamento de cargas e de pessoas. No estado do Amazonas, apesar do enorme esforço dos governos sejam eles federais e estaduais para a construção de rodovias e aeródromos, existe uma parcela substancial do estado que “ainda segue o padrão Rio-Várzea, em que o transporte pela via fluvial para a maior parte das localidades é a única alternativa, pois ainda são habitadas por populações caboclas que têm no rio uma de suas fontes principais de vida” (NETO; NOGUEIRA, 2019).

Na malha fluvial da bacia se destacam entre os principais afluentes, os rios Javari, Juruá, Jutai, Purús, Madeira, Tapajós e Xingu, que contribuem pela margem direita e os rios, Içá, Japurá, Negro, Uatumã, Nhamundá, Trombetas e Jari pela margem esquerda. Portanto, há uma grande rede natural apta ao transporte fluvial, que se estende por toda a região. Tal malha fluvial corresponde ao tamanho expressivo de mais de 50.000 km de trechos navegáveis, o que a torna extremamente bem drenada (NETO; NOGUEIRA, 2019). Tal malha é a conexão entre os grandes centros das capitais, os municípios do interior e as comunidades ribeirinhas, localizadas em áreas mais remotas. É também a solução logística para o desenvolvimento social, econômico e cultural da população local.

O potencial para o desenvolvimento do transporte hidroviário na Região é fantástico, além de se constituir em fator essencial para o projeto Arco Norte e para a logística de exportação do agronegócio brasileiro. Manaus é a capital e a mais importante cidade do Amazonas, a grande maioria dos municípios do estado se interligam a ela por rotas fluviais. Nota-se, portanto, que os municípios do Amazonas dependem dos rios para a movimentação comercial, cultural e social entre as cidades, de maneira que as instalações portuárias são o meio de conexão entre elas. A estrutura portuária do estado do Amazonas tem o porto de Manaus como ponto de partida e principal acesso intermunicipal e interestadual, ligando os municípios amazonenses a outros estados, como Pará e Rondônia.

2.2 O Agronegócio no Amazonas e a Importância das Hidrovias para a Produção

O agronegócio é a principal fonte de renda no estado do Amazonas. São dezenas de cidades que dependem e se desenvolvem com base na agricultura e na pecuária. A agricultura familiar é a categoria social predominante, em termos numéricos no Amazonas, (IDAM, 2019) e a sua importância está associada ao seu papel de categoria social produtora de alimentos para si e para o mercado. A Tabela 2.1 mostra os principais produtos da região amazônica e que serão utilizados para o desenvolvimento deste trabalho.

Tabela 2.1 – Demanda de Manaus em Toneladas por Ano

Produto				
Grãos	Fruticultura	Hortaliças	Pecuária	Pesca
Milho	Cana de açúcar	Mandioca	Bovinocultura mista	Piscicultura
Feijão	Mamão	Macaxeira	Bubalinocultura	
Café	Maracujá	Juta	Suinocultura	
Arroz	Pimentão		Ovinocultura	
	Abóbora		Caprinocultura	
	Pepino		Avicultura de corte	
	Maxixe			
	Guaraná			
	Cacau			

Fonte: O autor (2021).

Dados do Instituto de Desenvolvimento Agropecuário e Florestal (IDAM, 2019) do Estado do Amazonas mostram que a agricultura familiar produziu, em 2018, 50% das aves, 59% dos suínos, 48% dos bovinos, 87% da mandioca, 70% do feijão, 66% do milho, 38% do café, 34% do arroz, 21% do trigo e 16% da soja, utilizando 24,32% da área ocupada. Além da produção de alimentos, a agricultura familiar agrega outra característica que é a sua capacidade de reter mão de obra e gerar postos de trabalho no meio rural, numa perspectiva diversa da lógica capitalista do trabalho.

De acordo com censo feito pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2019), a agricultura familiar era responsável por 74,4% dos postos de trabalho no meio rural, enquanto a agricultura não familiar respondia por 25,6%. Esta particularidade confere à agricultura familiar uma importância grande no desenvolvimento rural e na dinamização das economias locais.

As áreas assistidas com grãos abrangem as culturas de milho, feijão e arroz que representam um total de cerca de 4.494,60 ha e uma produção esperada de 18.136,88 toneladas.

O destaque entre eles está na produção do milho. A área de produção de milho verde assistida pelo IDAM é de 1.861,75 ha, com estimativa de produção de 969.753 mãos de milho verde o equivalente a mais de 14 mil toneladas. Os cultivos de milho grão e milho verde representam entorno de 70% do total da área de grãos assistida pelo IDAM.

Para a produção de hortaliças, pode-se dar destaque para a produção de mandioca, principalmente para a produção de farinha, e a macaxeira. Segundo dados do IBGE a produção de mandioca teve alta de 56% no ano de 2019 em relação ao ano de 2018, o que puxou o crescimento da produção agrícola do Amazonas. A fruticultura tem na produção de mamão e maracujá seus principais destaques no estado. A produção de mamão e maracujá na região ficou em torno de das 20 mil toneladas.

A pecuária é outro setor no estado do Amazonas que merece destaque como principal fonte de renda para a região e sua população. A produção, principalmente para avicultura e bovinocultura, cresceu no estado porque tende a ser mais lucrativa que em outras regiões. Isso é possível devido aos baixos preços da terra na região.

Tendo em vista a grande produção agrícola no Amazonas, é nítida a importância de um modal de transporte que se adeque a realidade do estado. A hidrovia exerce um importante papel no trânsito de mercadorias tanto da navegação interior quanto da cabotagem e do longo curso.

Além da precariedade das estradas amazonenses, a não existência de estradas que ligam diretamente a maioria das cidades do estado a capital Manaus, fazendo a necessidade de transbordo entre os transportes dos produtos, fazem com que este modal se torne mais custoso para este tipo de atividade na região.

Um exemplo é a BR 319, a famosa Transamazônica, que apesar do Governo Federal ter retomado obras em alguns trechos da rodovia, grande parte dela ainda se encontra em situações quase que intrafegáveis, principalmente em estações chuvosas, como mostra a Figura 2.1.



Figura 2.1 – BR - 319 A Rodovia Transamazônica. Fonte: Portal G1 (2018)

Estas condições acarretam em diversas vezes, perda de parte da carga, devido à irregularidade das estradas e também devido a atoleiros que em dias de chuva fazem com que grande parte das frotas parem para esperar melhores condições do clima, sendo prejudicial para os alimentos perecíveis como frutas e hortaliças, pois a região possui um estações chuvosas que geralmente duram dias seguidos de precipitação.

Para as cargas vivas, a constante troca de veículos devido aos pontos de transbordo pode causar estresse ao animal, o que influencia diretamente na qualidade da carne e desvalorizando o produto final. Como este histórico carente de rodovias e ferrovias os rios da bacia Amazônica surgem como uma solução natural para a integração das regiões, sendo crucial tanto no que se refere ao transporte de passageiros quanto ao transporte de cargas.

2.3 A população Amazonense e a dependência das hidrovias

Em relação ao transporte fluvial de passageiros na região, predomina o transporte pelos chamados barcos de recreio, ou barcos tradicionais como mostrado na Figura 2.2. Esse tipo de transporte, também conhecido como transporte de baixa renda, ocupa uma importante parcela no transporte de pessoas.



Figura 2.2 – Embarcação de Recreio para Transporte de Passageiros. Fonte: Portal G1 (2018)

Porém, em cidades que não possuem uma instalação portuária ou um ponto de atracamento com uma infraestrutura que suporte embarcações maiores e que dependem dos rios para o transporte, como é o caso das cidades de Ipixuna e Guajará, as cargas regionais, como alimentos e mercadorias, são transportadas juntamente com os passageiros nos chamados barcos tradicionais, os quais não têm pontos fixos de parada, fato gerador de maior lentidão nesse tipo de transporte, como por exemplo os cidadãos de Ipixuna que levam cerca de quatro dias para chegarem até a capital Manaus.

Mesmo com essas adversidades, a falta ou as más condições de rodovias e ferrovias faz com que o modal hidroviário continue sendo o mais importante para a população Amazonense. Segundo a (ANTAQ, 2019), Manaus recebe por ano mais cerca de 2 milhões de passageiros advindos das cidades do interior do estado.

Outro problema que ocorre em cidades com falta de terminais é o surgimento de portos clandestinos, barcos que atracam em barrancos onde são feitos embarque e desembarque de cargas e passageiros de forma precária e insegura, pondo em risco a vida de todos. Esse tipo de cenário ainda se faz presente no Amazonas, por isso é importante que haja projetos que viabilizem a construção de terminais adequados para a locomoção de cargas e de passageiros.

2.4 IP4 - Instalações Portuárias Públicas de Pequeno e Médio Porte

As IP4's são construídas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte - DNIT. Essas instalações têm que satisfazer requisitos de eficiência, segurança, atendimento ao interesse público, conforto e preservação do meio ambiente. Foram feitas para facilitar a movimentação de passageiros e cargas em locais onde esse tipo de acessibilidade ainda é escasso. Além disso, precisam constar no Sistema Nacional de Viação (SNV), operar exclusivamente com embarcações de navegação interior e estar fora da poligonal do porto organizado (DNIT, 2019b).

O estado do Amazonas possui uma reduzida malha rodoviária com um total de aproximadamente 10 mil km de rodovias federais e estaduais, sendo pavimentadas pouco mais de mil quilômetros e tendo a duplicação AM-070, com 84 km. A partir desses dados é possível observar que a integração pelas rodovias e pela trafegabilidade total continua distante para diversas localidades.

Visto que grande parte do transporte de passageiros e cargas na região é feita pelos rios, a IP4 desempenha um papel importantíssimo tanto social como econômico para os municípios do Estado. O estado do Amazonas é um dos poucos estados no país que possuem cidades quase que totalmente isoladas que só são possíveis acessá-las por vias fluviais.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a região Norte concentra cerca de 9% da população brasileira (quase 18 milhões de habitantes) e, desse total, 26% encontram-se na zona rural. Todos os dias, milhares de pessoas se deslocam para as cidades maiores em busca de encomendas, cargas e mercadorias, que vão desde alimentos até medicamentos, materiais de higiene e de construção, entre outros. Há também aqueles que saem de suas casas, nas comunidades mais isoladas, para trabalhar, estudar ou para fazer um tratamento médico.

A segurança e agilidade do transporte das embarcações são garantidas pelas estruturas de apoio ao embarque e desembarque nos municípios. Entre elas, estão as IP4, instaladas pelo DNIT. Atualmente, existem mais de 25 IP4 distribuídas em municípios do Amazonas que incrementam o comércio, garantem acesso à política agrícola, saúde, segurança, educação e cultura, além de aumentar o turismo na Amazônia.

2.4.1 Investimento e a Logística Portuária do Estado do Amazonas

O DNIT juntamente com o Governo Federal possui um programa para a construção, operação e manutenção das IP4's. O programa conta com um modelo de priorização orçamentária, de onde os gastos realizados nas construções das IP4's, assim como o custo para manutenção das existentes, já foram bem definidos e coletados para este estudo. DNIT (2019a). Segundo o plano citado existem vinte e cinco IP4's em operação no estado do Amazonas e sete cidades candidatas a construção de novas IP4's como mostra a Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Cidades com IP4's Operantes e Cidades Candidatas a Novas IP4's.

Cidades com IP4's Operantes	Cidades Candidatas
Iranduba; Manaquiri; Manacapuru; Santa Isabel do Rio Negro; Careiro da Várzea; Autazes; Humaitá; Nova Olinda do Norte; Nhamundá; Barreirinha; São Sebastião do Uatumã; Boa Vista do Ramos; Itacoatiara; Tapauá; Canutama; Codajás; Japurá; Fonte Boa; Carauari; Itamarati; Benjamin Constat; Itapiranga; Coari; Tefé; Parintins.	Eirunepé; Ipixuna; Borba; Manicoré; Guajará; Novo Airão; Novo Aripuanã

Fonte: O autor (2021).

Este programa visa levar, além da abertura de uma instalação portuária, desenvolvimento e maior acesso as estas cidades candidatas, visto que algumas delas não possuem estradas ou outros meios de acesso, principalmente até a capital Manaus, ou as que possuem algum outro meio de acesso, geralmente o mesmo se encontra em situações precárias.

Um exemplo é a cidade de Ipixuna, que não possui nenhum tipo de acesso, bem estruturado, que o ligue diretamente com o interior do estado. Todo o escoamento da cidade segue até o estado vizinho, Acre, e de lá segue para o Rondônia e só assim através do Rio Madeira ou pela Br 319, segue para Manaus.

3 Metodologia de Pesquisa

Este estudo, de acordo com (MIGUEL; MORABITO; PUREZA, 2010), em relação a abordagem do problema, pode-se classificar como quantitativa, que é definida em tudo que pode ser mensurado em número, classificado e analisado. Quanto ao objetivo, define-se como exploratória, visando investigar algum objeto de estudo que possui poucas informações. Quanto ao método utilizado, classifica-se como uma pesquisa empírica normativa, pois são utilizados modelos para propor políticas que melhorem a solução corrente de um sistema real.

3.1 Procedimento Metodológico

Neste item, apresentada-se uma sequência metodológica de todo o processo de pesquisa. Serão apresentadas cinco etapas que são necessárias para atingir os objetivos deste trabalho, conforme é mostrado na Figura 3.1.

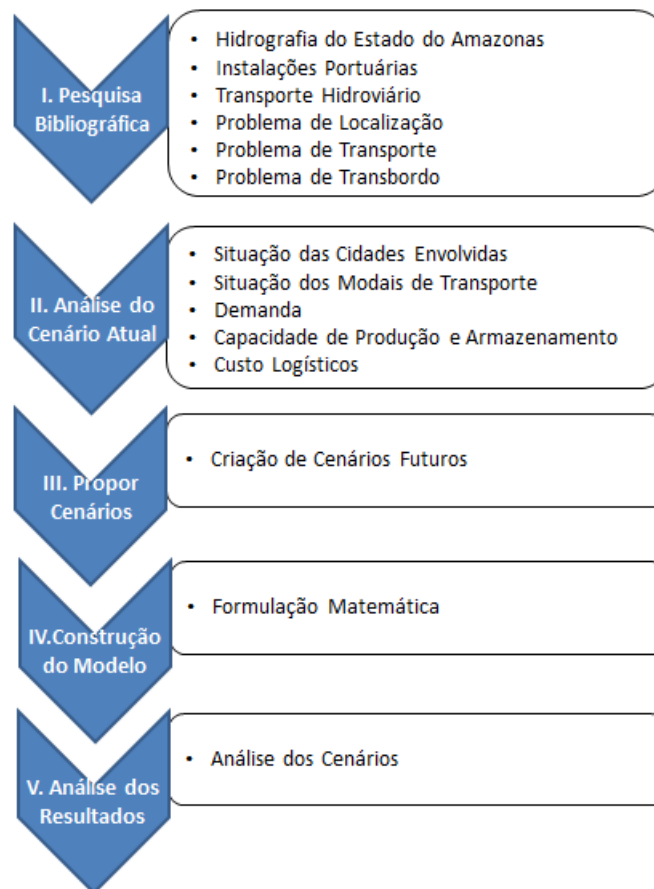


Figura 3.1 – Sequência Metodológica. Fonte: O autor (2021).

- I. **Pesquisa Bibliográfica:** Esta etapa trata do levantamento de dados e temas relevantes para o estudo e fundamentação teórica deste trabalho.
- II. **Análise do Cenário Atual:** Nesta etapa, são levantados todos os dados que compõem o cenário atual das distribuições das IP4's, assim como do transporte atual dos produtos e passageiros ofertados pelas cidades onde as IP4's se encontram instalados e também as cidades candidatas a receberem uma IP4.
 - Situação das Cidades Envolvidas: Localização de todas as IP4's operantes e da capital Manaus;
 - Situação dos Modais de Transporte: Levantamento das condições e quais modais existem para realizar o transporte dos produtos e passageiros entre as IP4's, as cidades candidatas e a capital Manaus;
 - Demanda: Levantamento sobre a demanda de Manaus sobre os produtos e quantidade de passageiros que a cidade recebe por ano do Estado do Amazonas, mais especificamente das cidades objetos deste estudo;
 - Capacidade de Produção e Armazenamento: Refere-se à capacidade de oferta ou produção das cidades que possuem ou não as IP4's assim como capacidade de armazenamento das mesmas;
 - Quantidade de passageiros que cada cidade utilizada neste estudo que trafega para a cidade de Manaus e quais trechos são utilizados;
 - Custos Logísticos: Levantamento de dados sobre os custos de transporte da produção e de passageiros de todas as cidades envolvidas no estudo para a cidade de Manaus, assim como análise sobre o custo de instalação e manutenção das IP4's.
- III. **Criação de Cenários Futuros:** Criação e definição de todos os cenários que o trabalho pretende analisar para alcançar seu objetivo.
- IV. **Construção do Modelo:** Nesta etapa, modelos de localização foram modificados e implementados em linguagem de modelagem para a realização de testes computacionais base nos cenários estabelecidos na etapa III.
 - Formulação matemática: adaptação de modelos matemáticos clássicos de localização de instalações, em especial o de localização de vértices com custos fixos de instalação e o modelo de p -facilidades.
- V. **Análise dos Resultados:** Nesta última etapa, são analisados os resultados encontrados de acordo com os cenários estabelecidos.

4 Projeto de Redes Logísticas

De acordo com (MIGUEL; MORABITO; PUREZA, 2010), este trabalho é uma pesquisa baseada em modelos que prescrevem decisões para um problema. Tem como objetivo principal mostrar a relação existente entre as observações apresentadas no modelo com a realidade dos cenários. A Pesquisa Operacional (PO) é aplicada a problemas que compreendem a condução e a coordenação das operações de uma organização. A natureza das organizações é essencialmente secundária, e de fato, a PO tem sido amplamente aplicada em diversas áreas distintas como manufatura, transportes, construção, telecomunicação, planejamento financeiro, assistência médica, militar e serviços públicos (PALOMARES, 2016).

Para (MOREIRA, 2013) a PO baseia-se, principalmente, no método científico para tratar de seus problemas. A observação inicial e a formulação do problema estão entre os mais importantes passos da solução de um problema por PO.

Palomares et al. (2016) define algumas fases que compõem um estudo de PO. Essas ações não seguem uma sequência rígida, mas indica as principais etapas que devem ser cumpridas. A Figura 4.1 demonstra as seguintes fases do estudo.

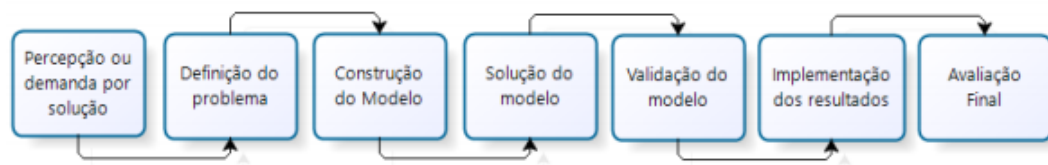


Figura 4.1 – Fases e Processos do Estudo de PO. Fonte: Palomares (2016)

4.1 Modelagem em Redes de Transportes

Aqui neste tópico, serão mostrados alguns conceitos que foram utilizados neste estudo, como por exemplo, a modelagem em redes, que podem ser usadas em diversos ambientes e são comuns no nosso dia-a-dia, como em problemas de produção, distribuição, planejamento de projetos, posicionamento de instalações, administração de recurso e planejamento financeiro.

Relacionando com a abordagem logística, (PALOMARES et al., 2016) entende que a rede logística é uma decisão estratégica que tem efeito prolongado na empresa, envolvendo a tomada de decisões acerca da localização de fábrica e depósitos, além da distribuição e obtenção de produtos.

É de se notar que modelos que utilizam sistemas em redes ajudam na visualização dos componentes do sistema assim como a relação entre os mesmos, o que facilita a compreensão do problema e dos seus resultados.

Com isso, (COLIN, 2013), define uma rede como sendo um conjunto de nós (ou vértices, ou pontos, ou junções) e arcos (ou ramos, ou conexões, ou ligações), conforme a Figura 4.2.

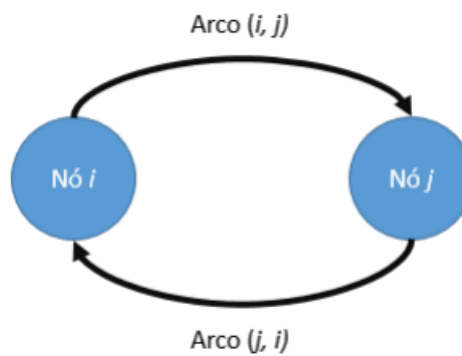


Figura 4.2 – Nós e Arcos de uma Rede. Fonte: Collin (2013)

A figura 4.24 mostra que, no arco direcionado (i, j) , i é o nó inicial e j é o nó terminal, pode-se perceber assim, que o arco citado o arco vai de i para j . Os nós em questão podem representar fábricas, armazéns, cidades e os arcos podem definir rotas de ida e volta de produtos, caminhões, embarcações e assim por diante. A Figura 4.35 mostra um exemplo de rede logística.

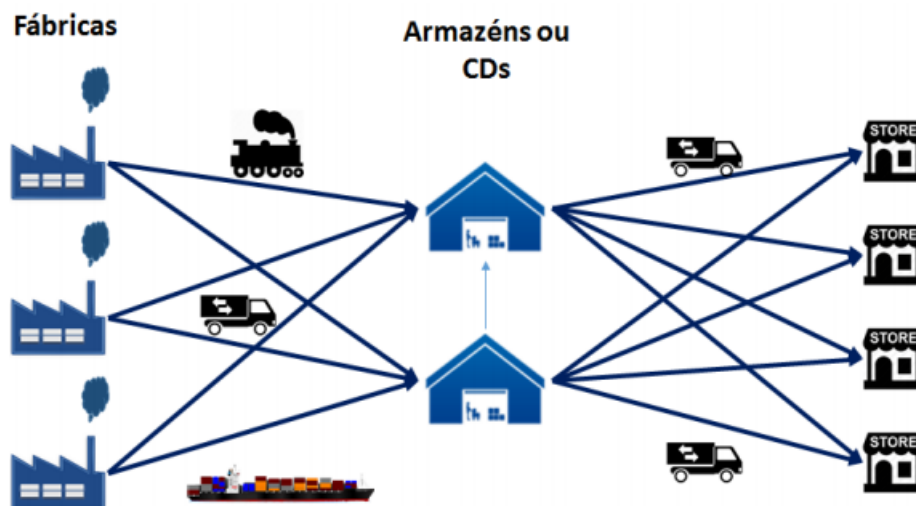


Figura 4.3 – Exemplo de Rede Logística de uma empresa. Fonte: Palomares (2016)

4.2 Problema de Localização, Transporte e Transbordo

O objetivo do problema de localização, segundo (JR; FAVERO; YOSHIKAZI, 2012) é determinar o número de instalações, selecionar a(s) localização(ões) ótima(s) dentre possíveis locais candidatos e atribuir os clientes às mesmas, visando satisfazer a demanda com menor custo.

Segundo (ROCHA, 2008) este problema envolve o transporte de alguma carga de diversas fontes a diversos pontos de destino. Dados o custo da distribuição entre cada fonte e destino, as produções das fontes e as capacidades dos destinos, pretende-se minimizar o custo total do transporte.

Para a rede de transporte, este problema possui um conjunto de nós de oferta e outro contem os nós de demanda. Os arcos ligam os nós de oferta diretamente aos nós de demanda.

O problema de transbordo, de acordo com (JR; FAVERO; YOSHIKAZI, 2012), é uma extensão do problema clássico de transporte onde, ao invés de transportar os produtos diretamente de várias fontes para vários destinos, trabalha-se com pontos intermediários de transbordo (instalações), que podem ligar esses caminhos a fim de reduzir os custos logísticos. O objetivo do problema de transbordo é determinar o fluxo de mercadorias provenientes de um conjunto de origens para um conjunto de destinos, através de um conjunto de nós intermediários com o objetivo de minimizar o custo total de transporte no sistema.

4.2.1 Modelagem

Neste item, apresenta-se a formulação matemática utilizada para resolver os cenários propostos. Para exemplificar e facilitar o entendimento a Figura 4.4 faz um resumo ilustrativo de como funciona a rede logística.

O sistema estudado até aqui aborda um problema de localização de custos fixos. Basicamente temos as cidades já apresentadas e que na figura 4.4 acima são representadas pelos nós ou vértices 1, 2 e 3 e a quantidade de seus produtos ofertados q_1 , q_2 e q_3 respectivamente. O vértice M representa a cidade de Manaus que possui uma demanda q_M . As setas ou arcos mostrados nas figuras representam o “caminho” ou o trecho que a produção ofertada por uma cidade fará para chegar no ponto M, tendo uma quantidade transportada x com um custo c , que como foi visto anteriormente varia com a quantidade transportada e modal que está sendo utilizado. A carga poderá ou não passar por um ponto de transbordo (4) para chegar ao vértice M.

Porém, como está informado na Figura 4.4, o total da oferta é maior que a demanda de Manaus, para corrigir este problema foi criado um ponto fictício R, que no modelo foi denominado “Região” sem custo de transporte e sua demanda é a diferença entre o total ofertado pelas cidades menos a demanda de Manaus, indicando que parte da produção ficou na região ou cidade que a produziu e com isso fazendo com que a oferta se iguale a demanda. A Figura 4.5 ilustra como

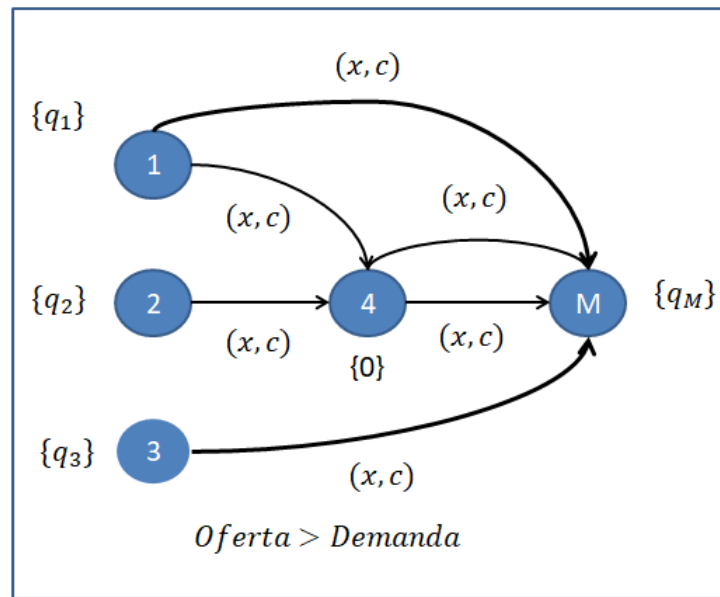


Figura 4.4 – Ilustração e Resumo da Rede do Problema. Fonte: O autor (2021).

fica esta nova rede.

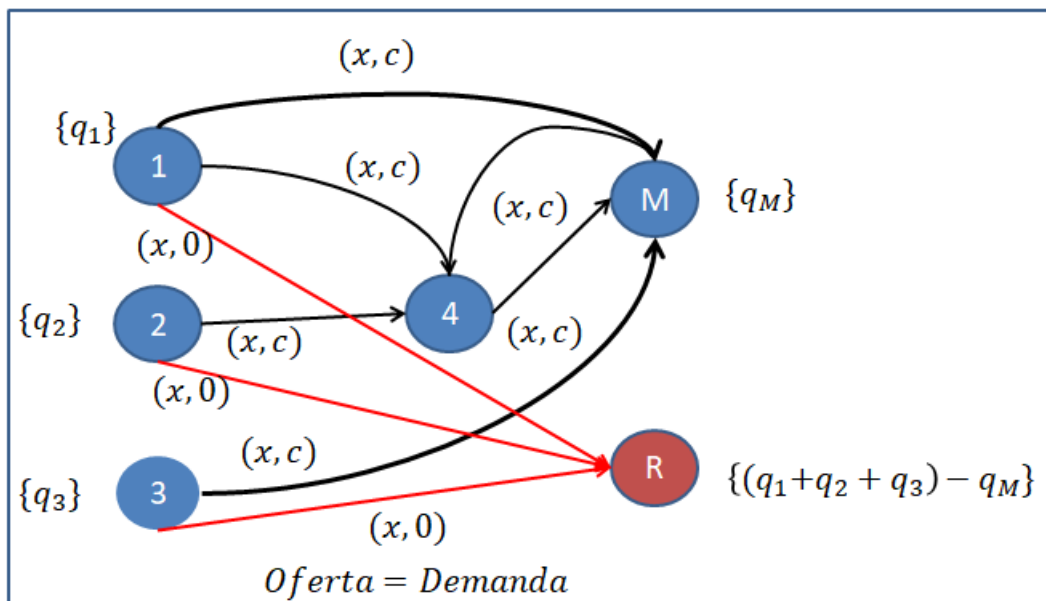


Figura 4.5 – Rede em Equilíbrio. Fonte: O autor (2021).

Entendido todo o processo, o modelo tem como objetivo encontrar o número e as localizações que minimizarão os custos fixos e variáveis de transporte dos produtos e também foi utilizado para o problema com transporte de passageiros, diferenciando a entrada dos dados através das redes de cada cenário proposto, sujeito às seguintes condições:

- A demanda de Manaus por todos os produtos e passageiros deve ser satisfeita.

- O processo de transporte não pode exceder a capacidade das cidades com ou sem IP4's.
- A capacidade de fornecimento não pode ser excedida para cada produto.

4.2.2 Localização de vértices monoproduto

Não precisa de muita sofisticação pra tomar boas decisões logísticas. Os modelos de localização ainda têm muita possibilidade de aplicação direta. Dentre os mais clássicos, estão o de localização com custos fixos, que considera, além dos custos de transporte, também leva em consideração os investimentos, criando um trade - off.

Conjuntos:

- $i \in I$: Cidades com IP4's instaladas, possuem acesso direto para Manaus
- $j \in J$: Manaus e o ponto fictício que receberão a demanda vinda das cidades.
- $r \in R$: Pontos sem IP4 e com acesso somente rodoviário.
- V : Conjunto criado para receber os itens contidos nos conjuntos I , J e R .
- A : Conjunto de arcos ou trechos que representam os possíveis caminhos entre as cidades e Manaus, podendo seguir direto ou passar por outra cidade para transbordo.

Parâmetros:

- Q_i : Capacidade máxima das IP4's.
- f_i : Custo de instalação de uma IP4.
- $c_{ij} \in A$: É o custo variável por unidade de fluxo no arco (i, j) , podendo ser uma cidade candidata para uma IP4, de uma cidade com IP4 direto para Manaus ou de uma cidade candidata direto para Manaus.
- $q_i \in V$: Demanda do produto ou passageiro em cada vértice.

Variáveis de Decisão:

- x_{ij} : Quantidade de fluxo da carga ou passageiro transportado no arco.
- y_i : variável binária que pode ser 1, caso a IP4 for aberta ou 0 caso contrário.

$$\min \sum_{i \in I} f_i y_i + \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} \quad (4.1)$$

Sujeito as restrições,

$$\sum_{j, (j,i) \in A} x_{ji} - \sum_{j, (i,j) \in A} x_{ij} \leq q_i, \forall i \in V \quad (4.2)$$

$$\sum_{j, (j,i) \in A} x_{ij} \leq Q_i y_i, \forall i \in I \quad (4.3)$$

$$x_{ij} \geq 0, \forall (i, j) \in A \quad (4.4)$$

$$y_i \in \{0, 1\}, \forall i \in I \quad (4.5)$$

A função objetivo, descrita na equação (4.1), minimiza o trade-off entre custos fixos de investimento, na primeira parcela, e os custos variáveis de transporte, mostrados na segunda parcela. A equação (4.2) faz o balanço de massa nos vértices da rede logística. O parâmetro q_i assume valores negativos para os vértices de oferta, considerados geradores de fluxo, valores positivos para os vértices de demanda, que absorvem o fluxo. Nos demais vértices, que são apenas vértices de passagem, a quantidade de fluxo que entra e sai é a mesma, sendo o valor do parâmetro q_i igual a zero. As restrições de capacidade das IP4's são descritas pela equação (4.3). Essas equações foram inspiradas no modelo de localização para fluxos em redes (ARENALLES, 2007), devido à necessidade de representar vários pontos intermediários na rede logística.

Como este estudo se baseia nos investimentos propostos pelo DNIT junto com o Governo Federal para a possível abertura de novas instalações portuárias em mais cidades no estado do Amazonas, os custos fixos se tornam importante para a tomada de decisão.

4.2.3 p -facilidades

Outro modelo clássico para problemas de localização é o de p - medianas. Esse modelo precisou ser adaptado para a versão aqui denominada p -facilidades, para capturar os pontos intermediários, servindo para avaliar somente os custos de transporte (custos de uso da rede).

Parâmetro adicional:

- p - Número de IP4's a serem abertas.

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} \quad (4.6)$$

Sujeito às restrições (4.2) a (4.5) e:

$$\sum_{i \in I} y_i = p \quad (4.7)$$

Nesse modelo, a função objetivo, descrita em (4.6) minimiza apenas os custos de transporte na rede. A restrição (4.7) determina no número de IP4's a serem abertas.

Mas a criação de novas rotas não é um problema exclusivamente financeiro. Também traz benefícios de desenvolvimento social, além do econômico, principalmente para a região amazônica que praticamente toda população depende das condições de infraestrutura e transporte hidroviário para seus sustento. Pensando nisso, surgiu a ideia de considerar também o transporte de passageiros.

Para os produtos, devido à sua diversidade, proveniente das características de desenvolvimento local - familiar, pequenas propriedades, os modelos precisaram ser adaptados para tomar decisões relativas aos múltiplos produtos.

Com isso, os modelos tiveram poucas adaptações, mas possibilitaram a análise de vários aspectos em cenários compatíveis com a realidade do sistema estudado.

Conjuntos Adicionais:

- $p \in P$: Produtos e passageiros que serão transportados.

Parâmetros Adicionais:

- $c_{pij} \in A$: É o custo variável por unidade de fluxo no arco (i, j) , podendo ser uma cidade candidata para uma IP4, de uma cidade com IP4 direto para Manaus ou de uma cidade candidata direto para Manaus.
- $q_{pi} \in V$: Demanda do produto ou passageiro p em cada vértice.

Variável de Decisão Adicional:

- x_{pij} : Quantidade de fluxo da carga ou passageiro transportado no arco.

4.2.4 Localização em vértices com custos fixos multiproduto

Para o transporte de cargas, foi preciso adaptar novamente o modelo de localização com custos fixos, para capturar o transporte de múltiplos produtos, competindo pela mesma capacidade nos trechos hidroviários. O problema pode ser formulado da seguinte forma:

$$\min \sum_{i \in I} f_i y_i + \sum_p \sum_{(i,j) \in A} c_{pij} x_{pij} \quad (4.8)$$

A função objetivo (4.8) minimiza o custo total variável associado aos fluxos mais o custo total fixo associado ao uso dos arcos, no caso do estudo, ao custo de abertura ou não de uma IP4.

Sujeito as restrições,

$$\sum_{j, (j,i) \in A} x_{pji} - \sum_{j, (i,j) \in A} x_{pij} \leq q_{pi}, \forall p \in P, \forall i \in V \quad (4.9)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{j, (j,i) \in A} x_{pij} \leq Q_i y_i, \forall i \in I \quad (4.10)$$

$$x_{pij} \geq 0, \forall (i,j) \in A, \forall p \in P \quad (4.11)$$

$$y_i \in \{0, 1\}, \forall i \in I \quad (4.12)$$

A restrição (4.9) garantem a conservação dos fluxos nos diversos nós. A quantidade de fluxo que chega menos a que sai, deve ser igual ao somatório das demandas sobre cada p de cada nó i , podendo ser uma IP4, uma cidade ou Manaus. Já a restrição (4.10) assegura que não haja fluxo através do arco (i,j) a menos que esteja aberta e respeitando sua demanda. A próxima seção mostrará os resultados obtidos para os três cenários aplicado ao modelo.

5 Definição dos Cenários para Análise

O intuito desse estudo é verificar, a partir dos dados levantados na pesquisa bibliográfica e da aplicação de um modelo matemático ao problema de transporte e localização, como se comporta a rede logística da região do Amazonas com a abertura de novas IP4's sugeridas pelo DNIT e pelo Governo Federal, quais os custos relacionados ao transporte tanto de carga quanto de passageiros no estado com a construção das novas IP4's, se houve ou não alteração no fluxo de transporte em cada cidade e por fim tentando mostrar um possível desenvolvimento que poderá acontecer pela instalação ou não das mesmas em determinada região.

5.1 As Características da Rede Logística

A Figura 5.1 mostra o mapa com a localização das cidades que fazem parte deste estudo, tanto as que já possuem uma instalação portuária em seu domínio quanto as que não possuem, que a partir de agora serão chamadas de cidades “Candidatas”, pois serão elas que os alvos do projeto do DNIT para a instalação de novas IP4's.

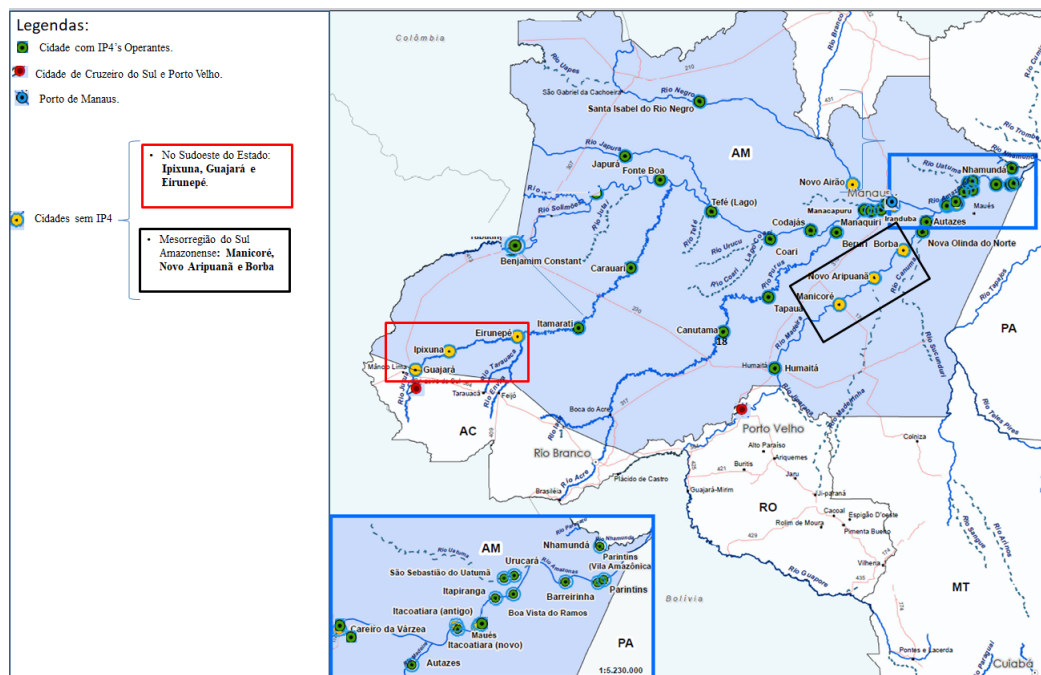


Figura 5.1 – Localização das Cidades com e sem IP4 Instalada: O autor (2021).

As cidades candidatas de Manicoré, Borba e Novo Aripuanã, são cidades com proximidade uma da outra e localizadas na mesoregião do Amazonas (destacado em vermelho no mapa). Já as cidades de Eirunepé, Guajará e Ipixuna, são cidades pertencentes ao sudoeste do estado fazendo divisa com o Acre onde a cidade de Ipixuna e Guajará são consideradas as cidades mais isoladas desta rede em questão, visto que o acesso a elas ou se dá pelo rio ou pela rodovia 364 pelo estado do Acre.

5.2 Transporte de Produtos

O transporte fluvial de cargas na região Amazônica é voltado para a cidade de Manaus com uma concentração de estruturas portuárias que recebem navios e demais embarcações, que permitem uma articulação local com os mercados nacionais e internacionais, já os demais portos são considerados, pela própria classificação oficial, como estruturas Portuárias Públicas de Pequeno e Médio Porte-IP4.

A grande maioria das IP4's, assim como suas respectivas regiões e cidades possuem trechos navegáveis que ligam diretamente até Manaus, porém existem algumas em que parte do transporte das cargas e passageiros necessita de mais de um modal para a conclusão do traslado, por isso algumas rotas rodoviárias e aéreas foram consideradas.

Para as cidades que são candidatas, a construção de novas IP4's, também foi considerada, tanto a rota via fluvial diretamente até Manaus, se esta for possível, assim como as rotas feitas atualmente por outros modais. No caso das rotas fluviais, considerou-se que o embarque de cargas e passageiros ocorre na IP4 mais próxima a essas cidades.

5.2.1 Situação da Rede Logística das Cidades Envolvidas

A maioria das cidades deste estudo possuem trechos totalmente navegáveis até o Porto de Manaus. Com isso, quase todos os transportes tanto de produtos quanto de passageiros são feitos pelas hidrovias, com exceção das cidades de Borba, Manicoré, Novo Aripuanã, onde o transporte se dá através do modal rodoviário utilizando a BR 319 (a Transamazônica) até a IP4 de Careiro da Várzea e dela, direto para o Porto de Manaus.

As cidades de Ipixuna e Guajará, que apesar de possuírem trechos navegáveis até Manaus, por não possuírem um terminal portuário com uma infraestrutura capaz de alocar embarcações com maior capacidade e com condições de fazer longas viagens, realizam o transporte tanto de cargas quanto de passageiros primeiramente até a cidade de Cruzeiro do Sul, que está mais próxima depois parte para o Porto de Porto Velho pela Rodovia 364 e de Porto Velho o transporte segue até Manaus pela Hidrovia através do Rio Madeira e Novo Airão.

Vale ressaltar que as cidades citadas acima são as cidades consideradas candidatas a instalação de uma IP4. Outra exceção é a cidade de Humaitá, que mesmo com uma IP4 operante, ainda possui uma boa parte do transporte de cargas feita pela rodovia via BR 319, uma das principais rodovias do Estado do Amazonas, até a IP4 de Careiro da Várzea e lá segue de barco até o Porto de Manaus.

5.2.2 Capacidade de Produção e Armazenamento – Principais Produtos da Região

Todos os principais produtos, em toneladas, ofertados por todas as cidades envolvidas no presente estudo, assim como a respectiva quantidade ofertada pelas mesmas. A tabela com os produtos e a média das ofertas por ano de cada cidade está representada no Apêndice - A.

Pode-se notar que de acordo com os dados do Apêndice – A, os produtos que mais se destacam em questão de quantidade ofertada são o milho, mandioca, cana de açúcar, macaxeira e bovinocultura e as cidades que mais produzem ou possuem uma maior ofertas de produtos são Manacapuru, Manicoré, Itacoatiara, Coari, Tefé e Parintins.

5.2.3 Demanda

A demanda da Cidade Manaus, mais especificamente, a circulação de produtos esperada por ano pela capital, vinda das cidades vistas neste estudo, abrangendo tanto as cidades com IP4's operantes quanto às cidades candidatas. As demandas estão apresentadas na Tabela 5.1.

Os produtos milho, mandioca, cana de açúcar, macaxeira e bovinocultura mista lideram como os principais produtos adquiridos por Manaus, o que corrobora com os dados anteriores sobre as ofertas dos mesmos. Sendo estes os produtos com maior índice de produção nas regiões estudadas, conseqüentemente serão os produtos com maior escoamento para a capital Manaus. A Figura 5.2 mostra em porcentagem, a participação desses produtos destacando ainda mais a importância deles para a região.

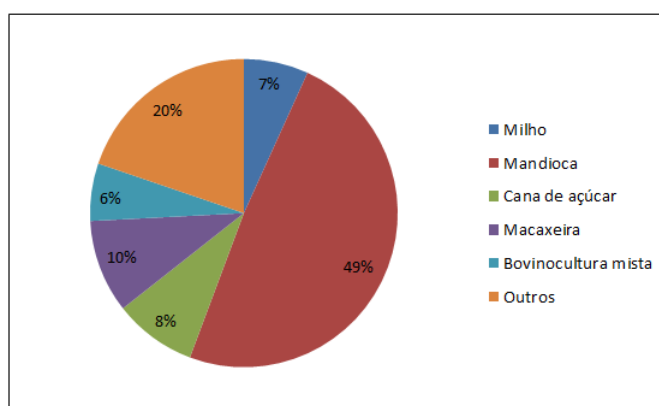


Figura 5.2 – Participação dos Produtos na Demanda de Manaus. O autor (2021).

Tabela 5.1 – Demanda de Manaus em Toneladas por Ano

Produto	Demanda de Manaus
Milho	12500
Feijão	1300
Mandioca	90000
Juta	350
Cana de açúcar	16000
Malva	5500
Mamão	4000
Maracujá	8400
Repolho	2500
Pimentão	1200
Abóbora	2650
Macaxeira	18000
Pepino	3000
Maxixe	20
Guaraná	130
Café	370
Cacau	390
Arroz	2300
Bovinocultura mista	11100
Bubalinocultura	1200
Suinocultura	1100
Ovinocultura	160
Caprinocultura	35
Avicultura de corte	1800
Piscicultura	3000
TOTAL	187005

Fonte: O autor (2021).

5.3 Transporte de Passageiros

Assim como para o transporte de produtos, o transporte de passageiros no estado do Amazonas é realizado em sua grande parte, pelas hidrovias e o principal destino da população amazonense é a capital Manaus.

As cidades possuem, em sua maioria, trechos navegáveis para o transporte de passageiros diretamente para Manaus, mas também possuem algumas cidades, principalmente entre as cidades que não possuem uma instalação portuária, que utilizam mais de um modal ou trecho para chegar até a capital. Assim como para o cenário com os produtos, a seguir serão mostrados os dados sobre os transporte de passageiros.

5.3.1 Situação da Rede Logística para o Transporte de Passageiros

A rede de transporte de passageiros dentro da região do estado assim como já foi visto para o transporte de produtos, possui praticamente a mesma configuração, principalmente para as cidades candidatas, com exceção para a cidade de Eirunepé, onde há na cidade, um aeroporto, com aviões de pequeno e médio porte para transporte de passageiros que liga diretamente a cidade de Manaus.

Outras mudanças neste cenário é a inclusão dos trechos, também pelo modal aeroviário, que ligam as cidades de Carauari, Coari e Parintís à capital. A Tabela 5.2 detalha mais estes trechos e quais modais são utilizados.

Tabela 5.2 – Principais Linhas de Transporte de Passageiros e o Modal Utilizado

Trecho/Linha	Modal Utilizado
Manaus - IP4 Autazes	Hidroviário
Manaus - IP4 Barreirinha	Hidroviário
Manaus - IP4 Bejjamin Constat	Hidroviário
Manaus - IP4 Beruri	Hidroviário
Manaus - IP4 Boa Vista do Ramos	Hidroviário
Manaus - IP4 Canutama	Hidroviário
Manaus - IP4 Carauari	Hidroviário
Manaus - IP4 Careiro da Varzea	Hidroviário
Manaus - IP4 Coari	Hidroviário
Manaus - IP4 Codajás	Hidroviário
Manaus - Cidade de Eirunepé	Aeroviário
Manaus - IP4 Fonte Boa	Hidroviário
Manaus - IP4 Humaitá	Hidroviário
Manaus - Cidade de Ipixuna	Rodoviário
Manaus – Cidade de Guajará	Rodoviário
Manaus - IP4 Iranduba	Hidroviário
Manaus - IP4 Itacoatiara	Hidroviário
Manaus - IP4 Itamarati	Hidroviário
Manaus - Cidade Itapiranga	Rodoviário
Manaus - IP4 Japurá	Hidroviário
Manaus - IP4 Manacapuru	Hidroviário
Manaus - IP4 Manaquiri	Hidroviário
Manaus - IP4 Nhamundá	Hidroviário
Manaus - IP4 Nova Olinda do Norte	Hidroviário
Manaus - IP4 Parintins	Hidroviário
Manaus - IP4 Santa Isabel do Rio Negro	Hidroviário
Manaus - IP4 São Sebastiao do Uatumã	Hidroviário
Manaus - IP4 Tapauá	Hidroviário
Manaus - IP4 Tefé	Hidroviário
Manaus - Cidade Carauari	Aeroviário
Manaus - Cidade Coari	Aeroviário
Manaus - Cidade Parintins	Aeroviário
Manaus - Cidade Itacoatiara	Rodoviário
Manaus - Cidade Manacapuru	Rodoviário
Manaus - Cidade Novo Airão	Rodoviário
Manicoré - IP4 Careiro da Várzea	Rodoviário
Humaitá - IP4 Careiro da Várzea	Rodoviário
Borba - IP4 Careiro da Várzea	Rodoviário
Novo Aripuanã - IP4 Careiro da Varzea	Rodoviário

Fonte: O autor (2021).

5.3.2 Fluxo de Passageiros para Manaus por Cidade

A tabela mostra a quantidade de passageiros que saem anualmente de cada cidade utilizada para este estudo até Manaus.

Tabela 5.3 – Principais Linhas de Transporte de Passageiros e o Modal Utilizado

Trecho	Quantidade de Passageiros
Manaus - Autazes	42.552
Manaus - Barreirinha	30.612
Manaus - Bejamin Constat	16.848
Manaus - Beruri	31.416
Manaus - Boa Vista do Ramos	8.568
Manaus - Borba	43.224
Manaus - Canutama	7.513
Manaus - Carauari	11.964
Manaus - Careiro da Várzea	223.104
Manaus - Coari	100.356
Manaus - Codajás	54.024
Manaus - Fonte Boa	19.212
Manaus - Guajará	1.089
Manaus - Humaitá	3.696
Manaus - Ipixuna	1.089
Manaus - Iranduba	947.520
Manaus - Itacoatiara	33.564
Manaus - Itamarati	5.340
Manaus - Itapiranga	9.125
Manaus - Japurá	10.212
Manaus - Manacapuru	12.792
Manaus - Manaquiri	60.240
Manaus - Manicoré	42.276
Manaus - Nhamundá	42.552
Manaus - Nova Olinda do Norte	58.284
Manaus - Novo Airão	19.692
Manaus - Novo Aripuanã	26.760
Manaus - Parintins	99.360
Manaus - Santa Isabel do Rio Negro	2.712
Manaus - São Sebastião do Uatumã	6.437
Manaus - Tapauá	19.860
Manaus - Tefé	131.460

Fonte: O autor (2021).

5.3.3 Demanda de Passageiros

Por ano, Manaus tem uma expectativa de receber cerca de 1.787.487 passageiros advindos das cidades mostradas na 5.4 segundo o Anuário do DNIT, esta foi a demanda utilizada para a continuidade desde estudo.

5.4 Custos Logísticos

Os custos logísticos considerados são de instalação das IP4's e de transporte dos produtos entre as cidades utilizadas e Manaus.

- Custo de Instalação das IP4's:

O DNIT junto com o Governo Federal e Ministério de Infraestrutura, possuem um projeto de novas Instalações Portuárias de Pequeno e Médio porte no Estado do Amazonas. O projeto conta com um orçamento previsto para o custeio da instalação de cada IP4 de R\$ 4.831.900 segundo o próprio DNIT. Este valor fixo é utilizado em todos os cenários como o custo de instalação das IP4's. Como o intuito do projeto é a instalação de sete novas instalações portuárias, tem-se um total estipulado de R\$ 33.823.300 para estes investimentos.

- Custo de Transporte de Produtos:

Segundo o Observatório Nacional de Transporte Logístico - ONTL, no Brasil a média de custo de transporte por tonelada no modal rodoviário é de R\$121,90, já para o modal hidroviário, também segundo a ONTL, o custo médio, no Brasil, para o transporte hidroviário é de R\$5,00 por tonelada para distâncias até mil quilômetros. Esta diferença se dá porque, como o transporte hidroviário geralmente tem a capacidade de transporte muito superior ao modal rodoviário, este valor é compensado com o alto volume de carga transportada em uma só viagem.

Os custos de transporte obtidos pra transportar todos os produtos ofertados de acordo com os trechos até Manaus são resultantes da multiplicação dos custos médio de transporte por tonelada no modal rodoviário, para os trechos que utilizam este modal, e o custo médio por tonelada no modal hidroviário, para os trechos que assim o utilizarem.

- Custos de Transporte de Passageiros

Os custos de transportes são tabelados para cada trecho e varia de acordo com a tarifa cobrada em cada trecho e a quantidade de passageiros transportados. Os dados foram das tarifas retiradas do site do DNIT e é mostrado na Tabela abaixo.

Tabela 5.4 – Principais Linhas de Transporte de Passageiros e o Modal Utilizado

Trecho	Tarifa Cobrada
Manaus - Autazes	R\$113,20
Manaus - Barreirinha	R\$94,00
Manaus - Bejamin Constat	R\$350,00
Manaus - Beruri	R\$40,00
Manaus - Boa Vista do Ramos	R\$80,00
Manaus - Borba	R\$71,50
Manaus - Canutama	R\$80,00
Manaus - Carauari	R\$280,00
Manaus - Careiro da Várzea	R\$16,00
Manaus - Coari	R\$55,00
Manaus - Codajás	R\$41,00
Manaus - Fonte Boa	R\$160,00
Manaus - Guajará	R\$90,00
Manaus - Humaitá	R\$131,00
Manaus - Ipixuna	R\$90,00
Manaus - Iranduba	R\$16,00
Manaus - Itacoatiara	R\$31,00
Manaus - Itamarati	R\$35,00
Manaus - Itapiranga	R\$35,00
Manaus - Japurá	R\$30,00
Manaus - Manacapuru	R\$120,00
Manaus - Manaquiri	R\$20,00
Manaus - Manicoré	R\$25,00
Manaus - Nhamundá	R\$76,00
Manaus - Nova Olinda do Norte	R\$88,00
Manaus - Novo Airão	40,00
Manaus - Novo Aripuanã	R\$30,50
Manaus - Parintins	R\$75,00
Manaus - Santa Isabel do Rio Negro	R\$85,00
Manaus - São Sebastião do Uatumã	R\$40,00
Manaus - Tapauá	R\$73,00
Manaus - Tefé	R\$100,00

Fonte: O autor (2021).

5.5 Proposta de Cenários

Dentre as diversas possibilidades de realização de testes computacionais utilizando a rede logística estudada, foram selecionados três cenários, que são explicados nas seções que se seguem.

O propósito de se propor cenários é orientar o processo de tomada de decisão, neste caso, analisar o melhor cenário para o investimento público previsto pelo DNIT em instalações portuárias no Amazonas, visando propor melhorias não só para o aspecto econômico mas também social.

5.5.1 Cenário 1 – Rede Atualmente Instalada

O cenário atual considera apenas as IP4's já instaladas e atualmente em funcionamento no estado do Amazonas. As cidades candidatas à instalação de uma nova IP4 foram consideradas na rede, mas sem a possibilidade de abertura das IP4's. Sendo assim, essa rede apresenta todas as cidades consideradas em todos os cenários, bem como as suas ofertas, mas não contempla a possibilidade de expansão da sua malha fluvial.

O propósito de se testar esse cenário é a criação de uma base de comparação para os demais resultados a serem obtidos. A partir desse cenário, torna-se possível caracterizar a rede logístá atualmente instalada no estado do Amazonas, isto é, descrever seus principais fluxos, custos de transporte associadoss, para cargas e passageiros, além da análise da utilização das capacidades das IP4's existentes.

5.5.2 Cenário 2 - abertura de todas as IP4' planejadas

Para o Cenário 2, foi proposto criar e analisar como se portará a rede logística de transporte de produtos ao abrir todas as todas as IP4's nas cidades candidatas assim como consta no projeto do DNIT. O mapa da Figura 6.2 ilustra como fica a rede logística com as alterações para este cenário.

A partir da Figura 6.2, pode-se perceber que para este cenário, as cidades que foram abertas as novas IP4's também possuem agora um trecho direto para o porto de Manaus através das hidrovias, pois agora possuem uma infraestrutura para atracação de barcos e balsas maiores para o transporte dos produtos pelo rio.

Para o problema de transporte de passageiros, assim como para o problema de transporte de produtos, o novo cenário proposto foi um cenário com as aberturas das IP4's nas cidades candidatas o que fez com que um novos trechos para o transporte de passageiros fossem adicionados a Tabela 5.2 para as cidades que antes não possuíam uma instalação portuária. A Tabela 5.5 abaixo mostra os trechos adiconados.

Tabela 5.5 – Principais Linhas de Transporte de Passageiros e o Modal Utilizado no Cenário 2

Trecho/Linha	Modal Utilizado
Manaus - IP4 Borba	Hidroviário
Manaus - IP4 Eirunepé	Hidroviário
Manaus - IP4 Ipixuna	Hidroviário
Manaus - IP4 Guajará	Hidroviário
Manaus - IP4 Manicoré	Hidroviário
Manaus - IP4 Novo Airão	Hidroviário
Manaus - IP4 Novo Aripuanã	Hidroviário

Fonte: O autor (2021).

Como mostrado na tabela acima, as cidades candidatas passaram a possuir um trecho aberto pela hidrovía ligando-as diretamente a capital Manaus.

5.5.3 Cenário 3 - aumento de capacidade para IP4's específicas:

Antes de iniciar os estudos sobre o cenário 3, primeiramente é necessário conhecer e entender mais sobre duas cidades que serão mais envolvidas neste problema. São elas as cidades de Humaitá e Eirunepé.

Situada no entroncamento entre as rodovias Transamazônica e Manaus-Porto Velho, Humaitá é banhada pelo Rio Madeira que possui um enorme potencial navegável. Sendo uma das principais cidades próxima a esta hidrovía. A cidade faz parte também do chamado "Arco Norte Amazônico", com grande potencial logístico.

Humaitá é uma cidade que já possui uma IP4 instalada, porém com uma capacidade não muito grande, configurando entre as IP4's de pequeno porte, porém, Humaitá tem proximidade com as cidades de Porto Velho, Manicoré, Novo Aripuanã e Borba, o que faz com que a cidade receba bastante fluxo tanto de pessoas quanto de alguns produtos destas regiões. Como a cidade possui uma instalação portuária de porte reduzido, partes da produção de Humaitá assim como outros produtos que passam pela região sigam para Manaus pela BR 319 até a IP4 de Careiro da Várzea para ser transportados para Manaus pela hidrovía.

A mesma situação pode servir para descrever sobre a cidade de Eirunepé, uma cidade próxima ao estado do Acre, próximas Ipixuna e Guajará e Itamarati, Eirunepé é uma das poucas cidades do estado do Amazonas que possui aeroporto e mesmo não existindo uma IP4 instalada, Eirunepé é uma cidade que não possui rodovias que ligam a outras cidades do estado, fazendo com que todos os tipos de transporte na região seja feito quase que predominantemente pelo rio, que possui um trecho totalmente navegável até a Manaus. O município cresceu gradativamente e tornou-se um dos principais municípios do sudoeste do Amazonas.

Com as informações acerca destas duas cidades, o Cenário 3 tem como proposta, realizar um maior investimento nessas duas cidades. Para Humaitá, foi proposto receber os investimentos que poderiam ser endereçados para as cidades de Manicoré, Novo Aripuanã e Borba, visto que estas três cidades se encontram próxima a Humaitá e tem em comum a Transamazônica.

Humaitá receberia todo o fluxo das três cidades e com uma instalação portuária com maior capacidade e infraestrutura hidroviária, todo o transporte partiria pelo rio madeira diretamente pra Manaus evitando assim que as suas três cidades próximas precisem levar a produção ou passageiros até a IP4 de Careiro da Várzea pela rodovia assim como foi visto no Cenário 1.

Para Eirunepé, a ideia proposta seria a mesma criada para Humaitá. Eirunepé receberia os investimentos que seriam para a instalação de IP4's nas cidades de Guajará e Ipixuna que com isso passariam a escoar seus produtos para Eirunepé que seguiria direto para Manaus, excluindo assim os trechos feitos para a cidade de Cruzeiro do Sul no Acre, depois para o Porto de Porto Velho e só assim partiria para o Porto de Manaus.

Para o problema de transporte de passageiros, as cidades de Humaitá e Eirunepé passaram a ter uma linha que transportam os passageiros direto a Manaus pela hidrovía e as outras 6 cidades candidatas passaram a ter o fluxo de passageiros alterado para estas duas cidades como proposto neste cenário. A Tabela 5.6 mostra como ficou a configuração das linhas das cidades envolvidas.

Tabela 5.6 – Principais Linhas de Transporte de Passageiros e o Modal Utilizado no Cenário 3

Trecho/Linha	Modal Utilizado
Cidade Borba - IP4 Humaitá	Rodoviário
Cidade Ipixuna - IP4 Eirunepé	Rodoviário
Cidade Guajará - IP4 Eirunepé	Rodoviário
Cidade Manicoré - IP4 Humaitá	Rodoviário
Cidade Novo Aripuanã - IP4 Humaitá	Rodoviário
IP4 Novo Airão - Manaus	Hidroviário
IP4 Humaitá - Manaus	Hidroviário
IP4 Eirunepé - Manaus	Hidroviário

Fonte: O autor (2021).

6 Resultados Computacionais

Nesta etapa são apresentados os resultados obtidos através da resolução da modelagem matemática de cada cenário proposto. A análise consiste em comparar os cenários criados (Cenário 2 e Cenário 3) com a situação atual (Cenário 1) da rede logística para o transporte dos principais produtos das cidades envolvidas neste estudo.

Os modelos de localização de vértices com custos fixos e fluxo monoproduto e multiproduto e de p -medianas foram implementados em linguagem de modelagem (AMPL) e resolvidos utilizando-se o *software* livre GNU GLPK for Windows 4.8 em um computador Intel Core I5 1.8 GHz 6.0 GB RAM, Windows 10 Home.

Como as redes de transporte de produtos e passageiros, em especial, nas cidades onde não há uma IP4 instalada, diferem sensivelmente uma da outra, principalmente pela possibilidade de transporte aéreo para passageiros, os modelos foram testados com dados específicos de produtos ou de passageiros. Contudo, como o DNIT prevê que a instalação de uma IP4 leve em consideração a construção e operação de ambos os terminais, os custos de instalação não poderiam ser somados, devendo ser considerados uma única vez nas análises.

Os três cenários foram testados, primeiramente, com o modelo de localização de vértices com múltiplos produtos considerando custos fixos e variáveis, para o caso do transporte de cargas e com a versão monoproduto para o transporte de passageiros.

Em seguida, todos os cenários foram testados com o modelo de p -facilidades, para a realização de uma bateria de testes, em que o número de IP4's abertas variou de 1 a 7. Com isso, foi possível analisar as relações entre custos de instalação, de transporte de produtos e passageiros e encontrar a ordem de importância de abertura das IP4's, de forma incremental.

6.1 Resultados do Cenário 1

A Figura 6.1 ilustra todos os trechos entre as cidades com IP4 em operação e entre as cidades candidatas até a capital Manaus, considerando o transporte de produtos.

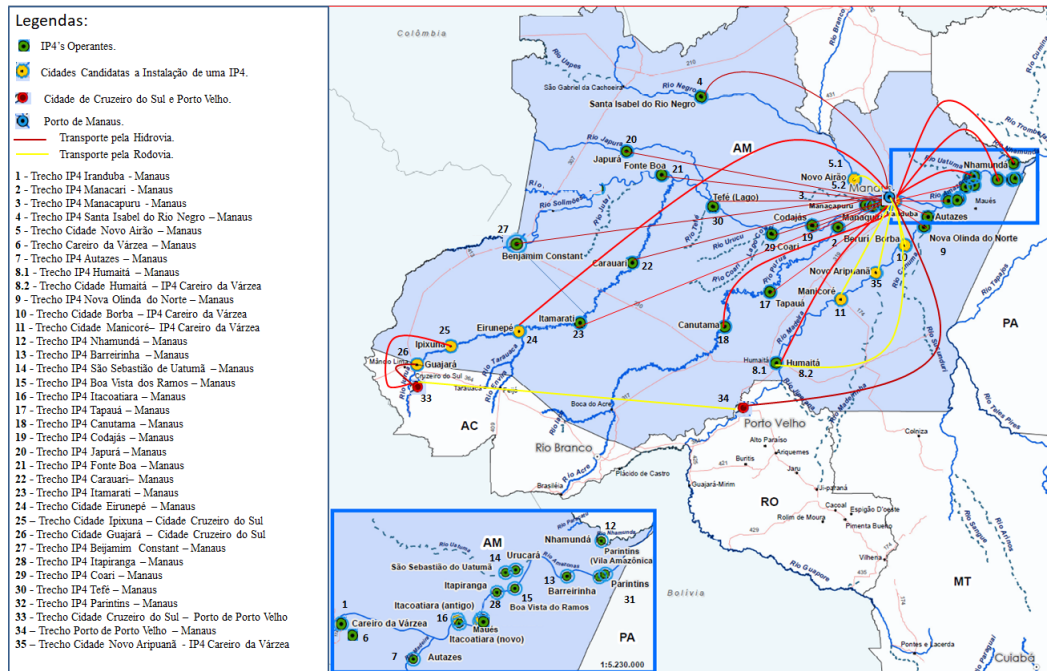


Figura 6.1 – Rede Logística para o Cenário Atual. Fonte: ANTAQ (2019) e adaptado pelo autor (2021).

6.1.1 Transporte de Produtos para o Cenário 1

A Tabela 6.1 mostra o total da produção das cidades que ainda não possuem uma IP4 instalada que foi transportado para Manaus. Como não há possibilidade dos produtos saírem dessas cidades diretamente por hidrovia, os produtos, incluindo as cargas vivas, são transportados por rodovia até a cidade de Manaus, como nos casos de Novo Airão e Eirunepé.

O valor da função objetivo foi de R\$7.920.436,80. Nesse cenário, como não há a possibilidade de abertura de nenhuma IP4, pois este cenário se refere à situação atual da rede logística, esse custo é referente apenas à parcela de custos variáveis de transporte

As cidades de Borba, Manicoré e Novo Aripuanã escoam seus produtos por rodovia até o embarque na IP4 mais próxima, que fica em Careiro da Várzea. As cidades de Ipixuna e Guajará precisam transportar suas cargas até Porto Velho, passando pela cidade de Cruzeiro do Sul para então, transportá-las para Manaus por hidrovia.

Tabela 6.1 – Produção Transportada para Manaus no Cenário 1

Cenário 1	
Trecho	Total Transportado em Toneladas
Cidade Novo Airão - Manaus	33
Cidade Borba - IP4 Careiro da Várzea	4177
Cidade Manicoré - IP4 Careiro da Várzea	28435
Cidade Eirunepé - Manaus	2872
Cidade Ipixuna - Cidade Cruzeiro do Sul	2902
Cidade Guajará - Cidade Cruzeiro do Sul	2947
Cidade Novo Aripuanã - IP4 Careiro da Várzea	4293
Cidade Humaitá - IP4 Careiro da Várzea	1653
IP4 Humaitá - Manaus	5497

Fonte: O autor (2021).

Neste cenário, as cidades candidatas de Manicoré, Borba e Novo Aripuanã, mesmo não possuindo IP4 e precisando transportar seus produtos por rodovias, tiveram 100% das suas produções enviadas para Manaus. As cidades de Ipixuna e Guajará, que também não possuem IP4, tiveram grande parte de produtos enviados para a capital, sendo 92,34% e 97,13% respectivamente. Os demais produtos ofertados permaneceram nos mercados locais, próximos às cidades de origem.

Mesmo possuindo um trecho com maior custo de transporte, estas cidades possuem estes altos índices de envio de produtos para Manaus, devido às variedades que as mesmas produzem e ofertam, pois, alguns produtos demandados por Manaus são produzidos por essas cidades quase que com exclusividade. Como Manicoré, que produz mais de 15% da macaxeira dentre as 32 cidades consideradas, 14% da produção de porcos (suinocultura) e 11% da produção de milho. A cidade de Ipixuna é a terceira maior produtora de peixe, o que destaca mais seu potencial visto que apenas 11 cidades ofertam este produto para Manaus.

Já as cidades candidatas de Novo Airão e Eirunepé, que não possuem algum produto com grande competitividade perante às demais cidades que possuem IP4, tiveram grande parte da sua produção vendidas nos mercados locais, já que não tinham como compensar o maior custo de transporte até Manaus. De acordo com o Apêndice A, Novo Airão possui uma produção de 1.188 toneladas, mas apenas 33 toneladas foram transportadas para Manaus, o que representa apenas 2,84% de sua produção total. Já a cidade de Eirunepé teve 41,87% da sua produção enviada para Manaus, apesar da dependência do transporte rodoviário.

Outro ponto importante deste cenário diz respeito ao escoamento da produção da cidade Humaitá até Manaus. Essa cidade possui uma IP4 instalada, mas sua capacidade é pequena em relação à produção da cidade. Passaram 5.497 toneladas pela IP4, o que representa 76,88% do total, seguindo para Manaus por hidrovia. Outras 1.653 toneladas foram transportadas para Manaus por rodovia, a um custo de transporte mais elevado.

Esta situação foi repetida em todas as outras cidades que tiveram IP4's instaladas e que possuíam mais de uma opção de caminho até Manaus, o modelo opta por transportar a maior parte dos produtos pelas hidrovias e é mostrado nas próximas análises.

Sobre os custos de transporte, por possuir umas das maiores demandas de produtos e escoá-los todos para Manaus, de transporte deste cenário. Transportando um total de 28.435 toneladas, necessita passar por um trecho de rodovia e outro pela hidrovia, os custos relativos ao transporte da cidade de Manicoré são de R\$3.608.401,50, o que representa 21,94% do custo total com transporte deste cenário.

6.1.2 Transporte de Passageiros para o Cenário 1

Para o transporte de passageiros neste cenário, a Tabela 6.2 mostra o total de passageiros que foram de cada cidade para Manaus e o trecho ou linha utilizada, assim como os custos de transporte. Para análise estão sendo mostradas além das cidades candidatas, algumas cidades que possuíam mais de uma opção de linha para Manaus por outro modal. Como por exemplo, A linha AER Manaus – AER Carauari, que representa o trecho do Aeroporto de Carauari até o Aeroporto de Manaus onde a sigla AER representa o modal Aeroviário. Também existem as siglas ROD e HID, utilizadas aqui para representar Rodovia e Hidrovia respectivamente.

Tabela 6.2 – Fluxo de Passageiros e Principais Linhas

Cenário 1	
Trecho	Total de Passageiros
AER Manaus – Carauari	0
AER Manaus - Coari	0
AER Manaus - Parintins	0
HID Manaus - IP4 Carauari	11964
HID Manaus - IP4 Coari	120564
HID Manaus - IP4 Parintins	150353
ROD Manaus - ROD Novo - Airao	29813
ROD Manicore - IP4 Careiro da Varzea	42276
ROD Humaita - IP4 Careiro da Varzea	9938
ROD Borba - IP4 Careiro da Varzea	35317
ROD Novo Aripuana - IP4 Careiro da Varzea	26760
AER Manaus - Eirunepe	8142
ROD Ipixuna - Porto Velho	1089
ROD Guajara – Porto Velho	8760

Fonte: O autor (2021).

Os trechos até Manaus por aerovias não foram utilizados devido ao alto custo de transporte deste modal, priorizando o uso das hidrovias. A exceção foi a cidade de Eirunepé, em que a única rota para transporte de passageiros é seguir do aeroporto diretamente para Manaus, teve 8.142 passageiros utilizando esta linha, com um custo bem elevado em comparação aos outros trechos da Tabela 6.2.

Enquanto Eirunepé possui um custo de transporte de R\$109.451,74 para 8.142 passageiros, o trecho pela rodovia da Cidade de Guajará a Porto Velho, que depois segue viagem pela hidrovia até Manaus, tem um custo de R\$48.516,92 para quase o mesmo número de passageiros, 8.760 no total. Já para as cidades candidatas, todas possuem rotas que precisam de transbordo, o que deixa esses trechos com maiores custos e olhando para a questão dos passageiros, torna a viagem mais demorada. Por exemplo, a partir da cidade de Ipixuna, é preciso seguir primeiramente pela rodovia até Porto Velho, para depois pegar a hidrovia até Manaus.

As cidades de Borba e Manicoré se destacaram nesse cenário, por possuem uma grande demanda de passageiros e a existência de trechos que também utilizam dois modais. A partir de ambas, os passageiros seguem pela rodovia até a IP4 de Careiro da Várzea, e de lá, de barco para Manaus. Borba teve em sua linha 35.317 passageiros e Manicoré 42.276, com custos de transporte de R\$117.723,33 e R\$145.952,86, respectivamente.

6.2 Resultados do Cenário 2

Para o Cenário 2, todas as cidades candidatas à abertura de novas instalações portuárias, terão uma IP4 instalada e em operação. O mapa da Figura 6.2 ilustra como fica a rede logística com as alterações para este cenário.

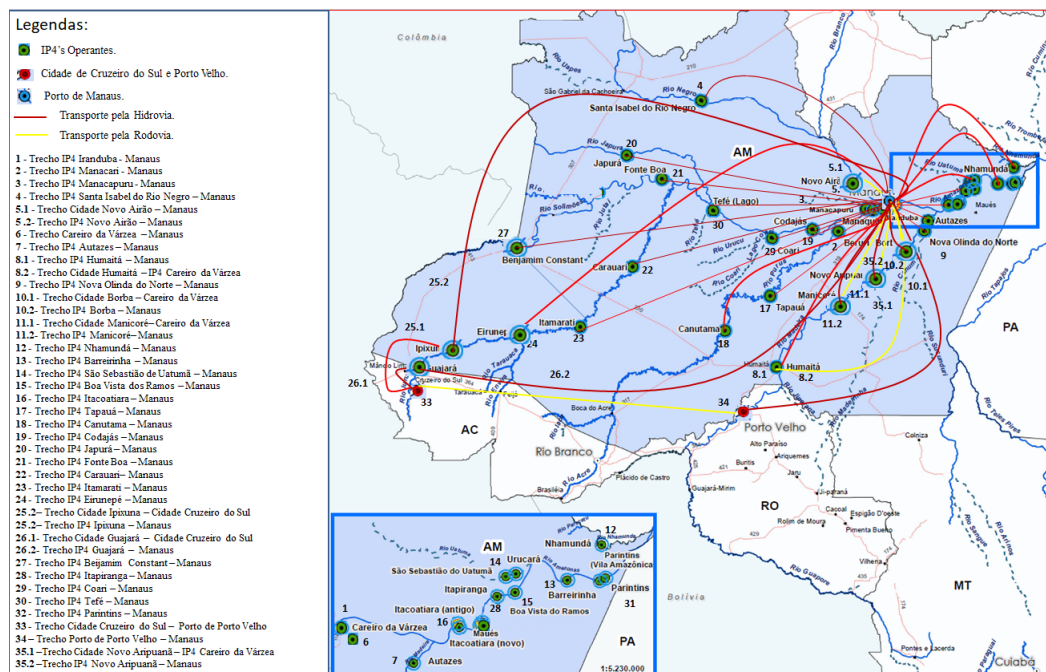


Figura 6.2 – Mapa da Rede Logística para o Cenário 2. Fonte: ANTAQ (2019) e adaptado pelo autor (2021).

6.2.1 Transporte de Produtos para o Cenário 2

Com a abertura de todas as IP4's, as cidades candidatas passaram a ter como opção de escoamento dos produtos uma rota por hidrovias que as ligam direto a Manaus. A Tabela 6.3 mostra os novos trechos, assim como a quantidade que foi transportada pelos mesmos.

Tabela 6.3 – Produção Transportada para Manaus no Cenário 2

Cenário 2	
Trecho	Total Transportado em Toneladas
Cidade Novo Airão - Manaus	26
Cidade Borba - IP4 Careiro da Várzea	1146
Cidade Manicoré - IP4 Careiro da Várzea	2094
Cidade Ipixuna - Cidade Cruzeiro do Sul	754
Cidade Guajará - Cidade Cruzeiro do Sul	280
Cidade Novo Aripuanã - IP4 Careiro da Várzea	1150
Cidade Eirunepé - Manaus	322
Cidade Humaitá - IP4 Careiro da Várzea	62
IP4 Novo Airão - Manaus	1162
IP4 Borba - Manaus	3031
IP4 Manicoré - Manaus	26341
IP4 Eirunepé - Manaus	5846
IP4 Ipixuna - Manaus	2117
IP4 Guajará - Manaus	2667
IP4 Novo Aripuanã - Manaus	3032
IP4 Humaitá - Manaus	3670

Fonte: O autor (2021).

Em relação ao primeiro cenário, as cidades candidatas, que antes não possuíam tanta competitividade, devido às diferenças entre os custos dos fretes rodoviários e hidroviários, com a opção de utilizar a hidrovia diretamente para Manaus, tiveram uma maior quantidade de carga transportadas para esse mercado. A cidade de Novo Airão, por exemplo, passou a ter 1188 toneladas dos seus produtos destinados a Manaus, um aumento de 97,16% em relação ao cenário 1, sendo 1162 toneladas transportadas pela hidrovia.

A cidade de Eirunepé, também teve um aumento considerável no envio de produtos para Manaus, sendo transportado um total de 6.168 toneladas de toda a sua carga, representando um aumento de 40,97% do que foi transportado no cenário 1 e com 5.846 toneladas escoadas diretamente pela hidrovia. As demais cidades candidatas mantiveram praticamente as mesmas quantidades de carga transportada para a capital, porém, a maior parte escolheu a hidrovia como principal meio para leva-las até Manaus.

Outro ponto importante a analisar, são os custos fixos de investimento. Foram gastos para instalação das sete IP4's um total de R\$33.823.300, sendo R\$4.831.900 destinados para a construção de cada IP4. Sobre os custos de transporte, para a cidade de Novo Airão transportar a mesma quantidade de carga transportada deste cenário, de 1.188 toneladas, no cenário 1, teria

um custo de R\$144.817,20, o que no cenário 2 passou a ser de R\$8.979,40, o que representa uma diferença de R\$126.858,40 e 87,6% de economia.

Porém, o maior destaque vai para a cidade de Manicoré. A cidade, que transportava sua carga total no cenário 1 com um custo de R\$3.608.401,50, transporta as mesmas 28.435 toneladas no segundo cenário com um custo de R\$397.433,60, representando a maior diferença entre custos de transporte de todas as cidades candidatas. Esta economia nos custos só da IP4 de Manicoré daria para recuperar os custos de instalação da mesma em um ano e meio e em nove anos pagaria a instalação das outras seis IP4's das cidades candidatas. Este cenário deixa clara a importância do transporte hidroviário na região, principalmente no tocante à economia em custos de transporte na região.

6.2.2 Transporte de Passageiros para o Cenário 2

Para o transporte de passageiros, como pode ser observado na Tabela 6.4, os trechos até Manaus que fazem uso de aerovias também não foram aproveitados e o modelo optou por utilizar as hidrovias para estas cidades.

Tabela 6.4 – Fluxo de Passageiros e Principais Linhas no Cenário 1

Cenário 2	
Trecho	Total de Passageiros
AER Manaus - Eirunepe	0
AER Manaus - Carauari	0
AER Manaus - Coari	0
AER Manaus - Parintins	0
ROD Manaus - Novo Airao	18960
ROD Manaus - Ipixuna	129
ROD Manaus - Guajara	3923
ROD Manicore - IP4 Careiro da Varzea	14586
ROD Humaita - IP4 Careiro da Varzea	9938
ROD Borba - IP4 Careiro da Varzea	11884
ROD Novo Aripuana - IP4 Careiro da Varzea	15802
HID Manaus - IP4 Humaita	37158
HID Manaus - IP4 Borba	23433
HID Manaus - IP4 Eirunepe	8142
HID Manaus - IP4 Ipixuna	960
HID Manaus - IP4 Guajará	4837
HID Manaus - IP4 Manicore	27690
HID Manaus - IP4 Novo Airao	10853
HID Manaus - IP4 Novo Aripuana	10958

Fonte: O autor (2021).

Além de possuírem taxas variáveis em cada trecho, como mostrado na Tabela 5.4, normas exigidas para o transporte legal de passageiros, como, banheiros femininos e masculinos que suportem a quantidade transportada, redes ou quartos para os funcionários e passageiros, coletes

e botes disponíveis a tripulação e transportados, lanchonetes ou restaurantes para viagens mais longas e outras diversas exigências para legalizar tal transporte, acaba o tornando quase que igualmente atrativo com o modal rodoviário, com isso é possível verificar que houve uma distribuição tanto entre os trechos que utilizam a rodovia quanto para trechos que utilizam hidrovias.

A cidade de Eirunepé, que no cenário 1 possuía apenas uma rota para passageiros pela aviação, com a instalação da IP4, passou a utilizar somente a hidrovias, o que reduziu em 98% os custos com transporte neste ponto. Assim como no cenário 2 Borba e Manicoré tiveram maiores custos devidos a grande demanda de passageiros, porém, tiveram também uma redução considerável nos custos de transporte. Borba teve um custo total de R\$51.413,79 com 43,67% de redução e Manicoré um custo de R\$64.201,43 com redução de 43,98% em relação ao cenário 1.

6.3 Resultados do Cenário 3

6.3.1 Transporte de Produtos para o Cenário 3

Este cenário contempla a abertura de uma IP4 em Eirunepé e outra em Novo Airão, com uma capacidade de 40.000 toneladas cada uma. Como a cidade de Humaitá já possui uma IP4 em operação, foi considerada a ampliação da sua capacidade, que poderia ser aumentada de 45.000 de 80.000 toneladas. O custo para esta ampliação foi considerado o mesmo custo para a instalação de uma nova IP4, ou seja, R\$4.831.900.

A taxa de utilização observada para as IP4's neste cenário foram de 54,38% para Humaitá, de 31,77% para Eirunepé e de 26,16% para a cidade de Novo Airão. O mapa da Figura 6.3 ilustra a situação da rede logística para este cenário.

Tabela 6.5 – Produção Transportada para Manaus no Cenário 3

Cenário 3	
Trecho	Total da Transportado em Toneladas
Cidade Borba - Humaitá	4177
Cidade Manicoré - Humaitá	28435
Cidade Ipixuna - Eirunepé	2902
Cidade Guajará - Eirunepé	2947
Cidade Novo Aripuanã - Humaitá	4182
IP4 Novo Airão - Manaus	1162
IP4 Eirunepé - Manaus	12708
IP4 Humaitá - Manaus	46217

Fonte: O autor (2021).

A Tabela 6.5 mostra as quantidades de carga transportadas pelas cidades candidatas em cada trecho que configura este cenário. As cidades de Borba, Manicoré e Novo Aripuanã

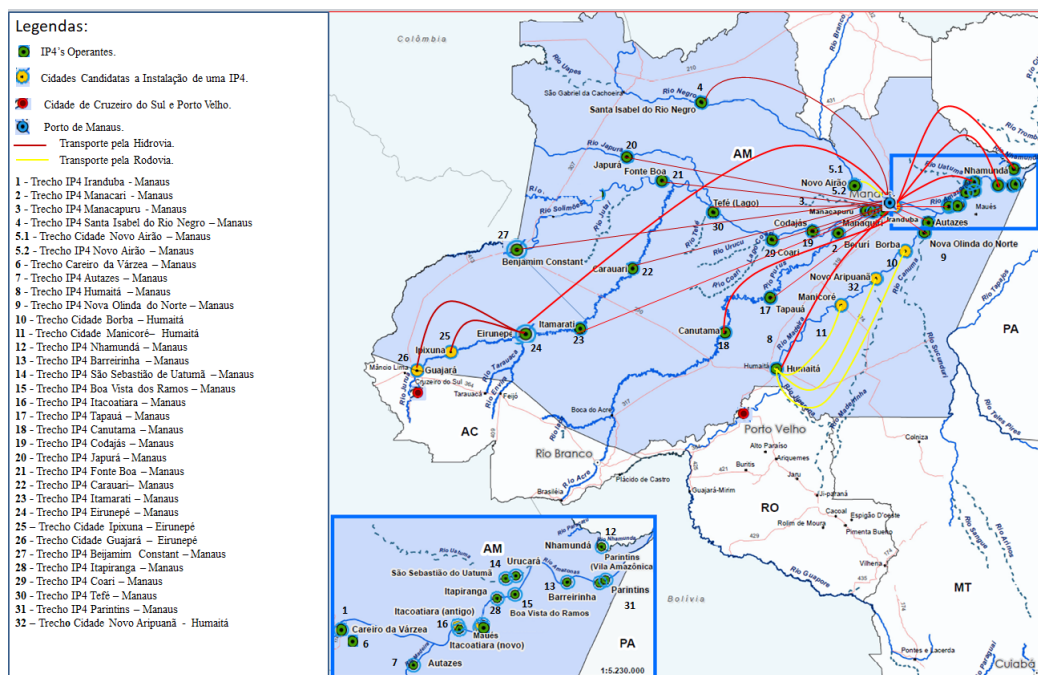


Figura 6.3 – Mapa da Rede Logística para o Cenário 3. Fonte: ANTAQ (2019) e adaptado pelo autor (2021).

passaram a levar a produção para Humaitá pela rodovia e depois da IP4 de Humaitá segue pela hidrovia direto para Manaus.

Pode-se notar na tabela que Humaitá passou a transportar um total de 46.217 toneladas de produtos até Manaus. Este valor se dá pela soma das cargas advindas das cidades de Manicoré, Borba e Novo Aripuanã, assim como mostrado na tabela. O mesmo pode ser observado para a Cidade de Eirunepé que transporta as cargas recebidas de Ipixuna e Guajará, totalizando 12708 toneladas transportadas por este trecho até Manaus.

Manicoré, assim como nos outros cenários, por ter toda a sua carga escoada para Manaus, continua sendo a cidade com maior custo de transporte. Como neste cenário há a necessidade de levar a carga até Humaitá pela rodovia, os custos deste trecho foi de R\$3.466.226,5 tornando-o menos atrativo do que no cenário 1 e 2 olhando para este trecho.

Já as cidades de Humaitá e Eirunepé tiveram um aumento nos fluxos de transporte de cargas, devido as cargas recebidas das outras cidades candidatas e conseqüentemente nos custos de transporte em seus trechos. Humaitá passou a transportar, 41910 toneladas no total, com um custo de transporte de R\$209.550. Para Eirunepé, estes custos foram de R\$56.665 para transportar 11333 toneladas.

As reduções de custos neste cenário se deu, em maior parte, devido às cidades de Ipixuna e Guajará. No cenário 1, as cargas advindas destas duas cidades iam até a cidade de Cruzeiro do Sul pela rodovia, depois para Porto Velho também pela rodovia e só depois seguia de barco para Manaus. Este trajeto tinha um custo de transporte de R\$382.773,8 para o trecho de Ipixuna e de

R\$733.213,6, totalizando R\$1.115.987.

Já para o cenário 3, estes custos sofreram grandes reduções, visto que agora as cargas vindas destas cidades passam somente por Eirunepé e seguem de barco ate Manaus, com custos de R\$17.412 para Ipixuna e de R\$29.470 para Guajará, com um total de R\$30.882,00, contando com uma redução de R\$1.085.105, o que mostra, mesmo que não muito expressiva, diferença entre os custos totais de transporte entre o cenário 1 e 3 que será mostrado em outras análises.

6.3.2 Transporte de Passageiros para o Cenário 3

Para o problema de passageiros, assim como nos dois cenários anteriores, o cenário 3 não utilizou os trechos com modais aeroviários, como pode ser observado na Tabela 6.6 e utilizando somente as hidrovias existentes nestas cidades.

Tabela 6.6 – Fluxo de Passageiros e Principais Linhas no Cenário 3

Cenário 3	
Trecho	Total de Passageiros
AER Manaus - Carauari	0
AER Manaus - Coari	0
AER Manaus - Parintins	0
ROD Ipixuna - IP4 Eirunepé	1089
ROD Guajara - IP4 Eirunepé	8760
ROD Manicore - IP4 Humaitá	42276
ROD Borba - IP4 Humaitá	35317
HID Manaus - IP4 Novo Airão	29813
ROD Novo Aripuana - IP4 Humaitá	26760
HID Manaus - IP4 Humaita	151449
HID Manaus - IP4 Eirunepe	17991

Fonte: O autor (2021).

As cidades de Eirunepé e Humaitá, com os investimentos, passaram a ser pontos de transbordo entre as cidades próximas a elas, assim como ocorreu no cenário para o transporte de cargas para o cenário 3. Os trechos destas cidades tiveram um aumento no fluxo de passageiros e também nos seus custos totais de transporte, como pode ser visto na Tabela 6.6.

A IP4 de Humaitá passou a receber anualmente 151449 pessoas, com o intuito de seguir viagem para Manaus, um crescimento de 82% se comparado ao fluxo de pessoas que passavam pela cidade no cenário 1. Para Eirunepé, o crescimento foi de 53% , recebendo 17.991 pessoas em seus terminal hidroviário anualmente. A seguir serão mostrados os resultados de custos totais dos três cenários estudados.

6.4 Análise Comparativa

6.4.1 Para o Modelo de Localização de Vértices com Mono e Multiproduto

Como pode ser observado nas Tabelas 6.7 e 6.8, considerando o modelo de localização de vértices com custos fixos, tanto para o transporte de cargas quanto para o transporte de passageiros, o Cenário 2 obteve um custo total mais elevado, visto que neste cenário são abertas todas as IP4's. O custo fixo para a abertura das instalações portuárias neste cenário foi de R\$33.823.300, utilizando 100% dos investimentos previstos pelo projeto do DNIT.

O Cenário 3 teve um investimento fixo total de R\$14.495.700, visto que foram abertas somente duas IP4's, em Novo Airão e Eirunepé, e realizada a ampliação da IP4 de Humaitá neste cenário, o que representou 42,8% do valor total dos recursos previstos no projeto inicial do DNIT.

Tabela 6.7 – Custo Total por Cenário para o Transporte de Produto

Cenário	Custos Total dos Cenários
1	R\$7.920.436,80
2	R\$36.496.831,30
3	R\$20.608.576,70

Fonte: O autor (2021).

Tabela 6.8 – Custo Total por Cenário para o Transporte de Passageiros

Cenário	Custos Total dos Cenários
1	R\$1.798.861,08
2	R\$35.147.281,71
3	R\$15.898.087,20

Fonte: O autor (2021).

As Tabelas 6.9 e 6.10 mostram os valores de custos variáveis de transportes, tanto de produtos quanto para passageiros. É possível observar que os custos de transporte de produtos no Cenário 2 tiveram o maior nível de redução em relação à situação atual, que é o cenário 1, de R\$5.246.905,50.

Enquanto isso, para o problema de transporte de passageiros, a maior diferença foi de R\$315.318,16, também do Cenário 2 em relação ao Cenário 1, o que mostra a importância econômica na abertura de todas as IP4's previstas nas cidades candidatas. Essa configuração possibilita a ligação hidroviária direta dessas cidades até Manaus, evitando o uso de transbordos rodoviários e aéreos, que são consideravelmente mais dispendiosos.

Ainda na tabela 6.10, é possível observar que o Cenário 3, que buscava abrir um número menor de IP4's, mas viabilizar o uso de longos trechos hidroviários para o transporte de cargas e passageiros até Manaus é muito pouco eficiente na redução dos custos de transporte. A economia observada foi de 22,83%, mas o uso dos trechos rodoviários, mesmo que pequenos, representam grandes aumentos de custos, pois o custo do transporte rodoviário na região é 17,5 vezes maior que o custo de transporte hidroviário.

Tabela 6.9 – Custo Total de Transporte de Produtos por Cenário

Cenário	Custos Total de Transporte dos Cenários
1	R\$7.920.436,80
2	R\$2.673.531,30
3	R\$6.112.876,70

Fonte: O autor (2021).

Tabela 6.10 – Custo Total de Transporte de Passageiros por Cenário

Cenário	Custos Total de Transporte dos Cenários
1	R\$1.494.707,67
2	R\$1.179.389,51
3	R\$1.402.387,20

Fonte: O autor (2021).

6.4.2 Para o Modelo de p - facilidades

O modelo de p -facilidades foi utilizado, em seguida, para uma bateria de testes em que o número de IP4's abertas variou de 1 a 7, considerando-se também a possibilidade de não abrir nenhuma IP4. Como esse tipo de modelo considera apenas os custos variáveis de transporte, os valores de função objetivo para todos os cenários podem ser diretamente comparados.

A Tabela 6.11 mostra a evolução dos custos de transporte e a economia obtida com o aumento do número de IP4's abertas. Pelo gráfico da figura 6.4, pode-se observar que a abertura de uma IP4 em Manicoré acarreta em um custo de transporte de cargas de R\$4.545.011,79, o que representa uma redução de R\$3.375.425 em relação a um Cenário 1, em que nenhuma IP4 é aberta. É possível observar que, a cada passo, o custo de transporte cai e que o decremento relativo também se reduz. Dessa forma, o custo de transporte pode ser utilizado como um parâmetro para a determinação da prioridade de abertura de cada uma das IP4's candidatas.

Tabela 6.11 – Número de IP4' Abertas em Relação ao Custo de Transporte de Cargas

Número de IP4's abertas	IP4 aberta	Custo de Transporte	Redução
0	-	R\$7.920.436,80	-
1	Manicoré	R\$4.545.011,79	R\$3.375.425
2	Novo Airipuanã	R\$4.156.481,03	R\$388.531
3	Borba	R\$3.768.078,42	R\$ 388.403
4	Guajará	R\$3.426.320,00	R\$341.758
5	Eirunepé	R\$3.093.403,47	R\$332.917
6	Ipixuna	R\$2.822.123,92	R\$271.280
7	Novo Airão	R\$2.673.221,30	R\$148.903

Fonte: O autor (2021).

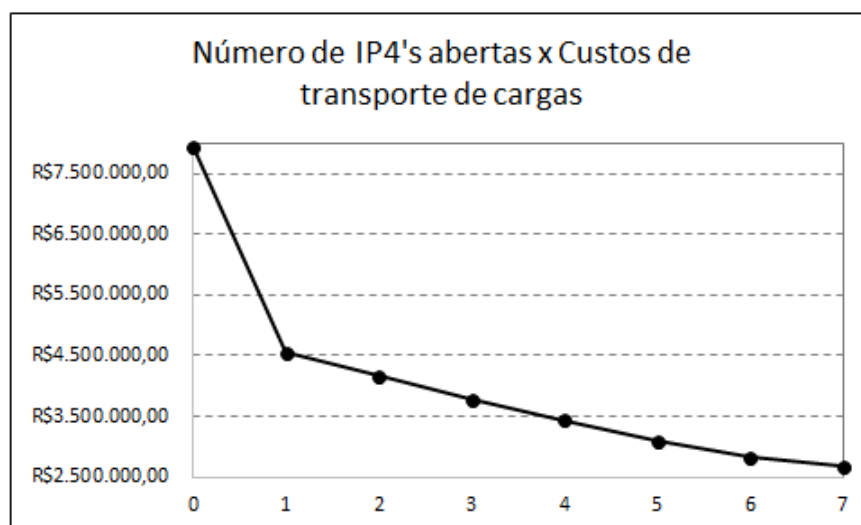


Figura 6.4 – Gráfico: Número de IP4's Abertas X Custo de Transporte de Cargas. Fonte: O autor (2021).

A Tabela 6.12 e a Figura 6.4 mostram os mesmos resultados para os cenários relativos ao transporte de passageiros. É possível verificar que as cidades mais importantes em relação ao transporte de passageiros nem sempre coincide com os cenários relativos ao transporte de produtos. Por exemplo, a cidade de Borba apresenta uma redução de R\$75.924,23 nos custos de transporte de passageiros, sendo a IP4 mais importante nesse caso.

Tabela 6.12 – Número de IP4' Abertas em Relação ao Custo de Transporte de Passageiros

Número de IP4's abertas	IP4 aberta	Custo de Transporte	Redução
0	-	R\$1.494.707,67	-
1	Borba	R\$1.418.783,44	R\$75.924,23
2	Manicoré	R\$1.382.651,60	R\$36.131,84
3	Guajará	R\$1.353.209,263	R\$29.442,34
4	Novo Airipuanã	R\$1.338.916,35	R\$14.292,91
5	Novo Airão	R\$1.333.411,26	R\$5.505,09
6	Ipixuna	R\$1.328.124,35	R\$5.286,91
7	Eirunepé	R\$1.323.981,71	R\$4.142,64

Fonte: O autor (2021).

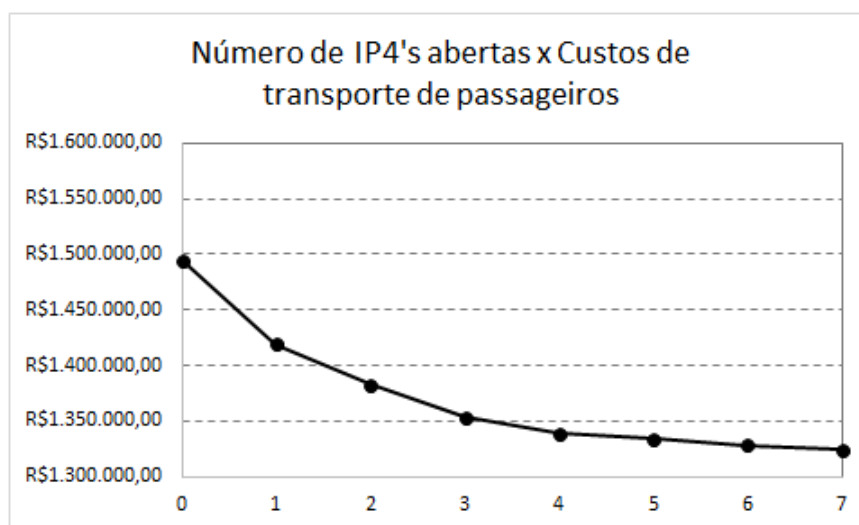


Figura 6.5 – Gráfico: Número de IP4's Abertas X Custo de Transporte de Passageiros. Fonte: O autor (2021).

Por fim, a Tabela 6.13 mostra os custos de transporte de cargas e passageiros somados, assim como as reduções totais obtidas com a abertura de cada uma das IP4's candidatas. Lembrando que não é possível fazer uma única bateria de testes para produtos e passageiros, pois muitas rotas são exclusivas de um ou outro tipo de transporte. Como por exemplo, as rotas aéreas são utilizadas exclusivamente por passageiros.

Tabela 6.13 – Tabela com as Reduções de Custo de Transporte para Passageiros e Produtos por Cidade Candidata

IP4	Redução - Produtos	Redução - Passageiro	Redução Total
Manicoré	R\$3.375.425,01	R\$36.131,84	R\$3.411.556,85
Borba	R\$388.402,61	R\$75.924,23	R\$464.326,84
Novo Aripuanã	R\$388.530,76	R\$14.292,91	R\$402.823,67
Guajará	R\$341.758,42	R\$29.442,34	R\$371.200,76
Eirunepé	R\$332.916,53	R\$4.142,64	R\$337.059,17
Ipixuna	R\$271.279,55	R\$5.286,91	R\$276.566,46
Novo Airão	R\$148.902,62	R\$5.505,09	R\$154.407,71

Fonte: O autor (2021).

A Tabela nos mostra que a IP4 de Manicoré possui a maior relevância, tendo sido a primeira para os cenários de carga e a segunda para o transporte de passageiros. Com uma redução anual dos custos totais de transporte de R\$3.475.926,81, a IP4 de Manicoré se pagaria em 1,4 anos fazendo com que o retorno dos investimentos fossem recuperados rapidamente. Por outro lado, a IP4 de Novo Airão, pela sua proximidade geográfica de Manaus em relação às demais candidatas, foi aquela que apresentou uma menor contribuição na redução dos custos totais de transporte.

Com a abertura das sete IP4's, seria obtida uma redução total com custos de transporte de R\$5.417.941,46, com Manicoré participando de 62,9% desta redução, destacando a importância da abertura de uma IP4 cidade. De acordo com os resultados, o investimento para abertura de todas as IP4's teria retorno em 6,2 anos, o que pode ser considerado um curto período de tempo, mostrando a importância e a economia gerada pelas IP4s e pela utilização do transporte hidroviário no estado do Amazonas.

7 Considerações Finais

7.1 Conclusão

Neste trabalho pode-se aplicar os conceitos e ferramentas de pesquisa operacional em um problema de localização com custos fixos em uma rede logística de transporte de produtos e passageiros entre cidades do estado do Amazonas. Os resultados obtidos mostraram que estas ferramentas são importantes e podem ser utilizadas em diversos cenários, podendo auxiliar na tomada de decisão de empresas e governos para a instalação de nova IP4's.

O modelo matemático proposto se mostrou eficiente dentro do que era esperado e com os dados que foram utilizados. Com ele foi possível quantificar o impacto que a abertura de uma ou mais instalações potuárias podem causar no custo global de uma operação de investimento público e não somente na distribuição.

E relação aos resultados obtidos, os dois cenários propostos culminaram em uma redução dos custos totais de transporte das redes logísticas na região, o Cenário 2 tanto para o problema de transporte de passageiros quanto para o transporte de produtos se mostrou muito promissor e com resultados satisfatórios visto que na teoria para o trabalho em questão, este foi considerado o cenário ideal com uma redução de mais de 90% do valores gastos no Cenário 1, que é considerado o cenário atual da rede de transportes na Amazônia.

A abertura de todas as novas IP4's por parte do programa, mostrou uma redução de custos de transporte muito superior como mostrou a importância do modal hidroviário para a região do Amazonas. A dependência das cidades pelo transporte hidroviário faz com que um investimento maior faça cada vez mais sentido. A economia gerada por este cenário poderia ser convertida em outros programas governamentais para ajudar no desenvolvimento do arco norte do país além de ajudar a sociedade ribeirinha da região que depende exclusivamente de trabalhos e atividades relacionadas aos rios.

Com a abertura de novos portos, os produtores e as cidades que fizeram parte deste estudo, podem futuramente aumentar a produção e ofertando maiores quantidades para a capital Manaus e também começar a abastecer estados vizinhos como o Acre e Rondônia.

A navegação fluvial no estado é uma parte essencial na vida dos passageiros, é uma necessidade básica para a população do interior da Amazônia. O estado do Amazonas está localizado na Amazônia Ocidental, uma região que necessita de um sistema de navegação adequado, devido às grandes distâncias internas entre os seus municípios, as interligações dos municípios e das comunidades com as grandes cidades são feitas por via fluvial, embora na cheia e na vazante as dificuldades aumentem para a navegação fluvial. Em alguns lugares a navegação é o principal transporte responsável pela locomoção de pessoas, mercadorias e pelo turismo na

região.

7.2 Trabalhos Futuros

A seguir são sugeridos alguns temas para trabalhos futuros.

- Englobar no modelo matemático custos de armazenagem aos produtos que não foram exportados;
- Analisar cenários futuros de acordo com a variação de demanda ou acrescentar novos receptores destes produtos como novos Estados.
- Analisar a abertura de novas IP4's em lugares estratégicos.
- Realizar um estudo mais aprofundado sobre o impacto social e econômico causado com a abertura das IP4's para a cidade envolvida.

Referências

- ANTAQ. Agência nacional de transportes aquaviários. *Anuário Estatístico de Transportes*. Brasília: ANTAQ, 2019.
- ARENALES, M. e. a. *Pesquisa Operacional*. [S.l.]: Rio de Janeiro, 2007. v. 1.
- BRANCO, J. E. H.; FILHO, J. V. C. *Estimativa da demanda de carga captável pela Estrada de Ferro Norte-Sul*. Tese (Doutorado) — Dissertação de Mestrado. 159 f. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2007.
- CNRH. Conselho nacional de recursos hídricos. *MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL*. Brasília, 2019.
- CNT, C. Transporte de cargas no brasil: Ameaças e oportunidades para o desenvolvimento do país. <http://www.cnt.org.br>, v. 20, n. 06, p. 2007, 2019.
- COLIN, E. C. *Pesquisa Operacional: 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas*. [S.l.]: Livros Técnicos e Científicos, 2013.
- DNIT. Atlas dnit, infraestrutura aquaviária. *Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte: 2019*, 2019.
- DNIT. Departamento nacional de infraestrutura de transportes. 2ª edição. *Editado pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR)*. Ministério dos Transportes, Brasil, 2019.
- EMPRAPIA. *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*, 2019.
- IDAM. Produção vegetal no estado do amazonas. *Instituto de Desenvolvimento Agropecuário e Florestal do Estado do Amazonas: 2019*, 2019.
- JR, I. de B.; FAVERO, P.; YOSHIKAWA, H. T. Y. Um modelo de localização e transbordo multiproduto para avaliação do impacto de regimes aduaneiros. *Transportes*, v. 20, n. 3, p. 88–98, 2012.
- LAURINDO, C. Análise da dependência da economia brasileira ao modal de transporte rodoviário. *Ciências Econômicas-Unisul Virtual*, 2019.
- MIGUEL, P. A. C.; MORABITO, R.; PUREZA, V. *Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e gestão de operações*. [S.l.]: Rio de Janeiro, Campus, 2010. v. 1.
- MOREIRA, D. A. *PESQUISA OPERACIONAL-CURSO INTRODUTÓRIO*. [S.l.]: Cengage Learning Edições Ltda., 2013.
- NETO, T. O.; NOGUEIRA, R. J. B. Os transportes e as dinâmicas territoriais no amazonas. *Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia*, Théry, Hervé, n. 43, 2019.
- NOVAES, A. G.; GONÇALVES, B. S.; COSTA, M. B.; SANTOS, S. dos. Rodoviário, ferroviário ou marítimo de cabotagem? o uso da técnica de preferência declarada para avaliar a intermodalidade no brasil. *Transportes*, v. 14, n. 2, 2017.

PALOMARES, M. et al. Alternativas de instalação de centros de distribuição de uma empresa multinacional de grande porte utilizando modelagem matemática. Joinville, 2016.

ROCHA, B. d. O. Utilização de modelos de localização para dinamização do fluxo reverso de pneus inservíveis. 2008.

TEIXEIRA, A. dos S.; SOUZA, A. B. de; AZEVEDO, R. da C.; JÚNIOR, C. A. T.; FILHO, F. de S. P. Gestão da inovação portuária na amazônia: proposta de remodelagem de transporte dos ribeirinhos no rio madeira. *Revista de Administração, Sociedade e Inovação*, v. 3, n. 2, p. 188–204, 2017.

Apêndices

APÊNDICE A – Quantidade em Toneladas dos Produtos Ofertados por Cidade

	Iranduba	Manaquiri	Manacapuru
Milho	280	1000	0
Feijão	51	32	45
Farinha de Mandioca	1229	1050	16419
Juta	0	0	54
Cana de açúcar	0	80	0
Malva	405	105	5625
Mamão	2860	0	2125
Maracujá	2535	80	5760
Repolho	0	180	1314
Pimentão	1280	48	0
Abóbora	0	420	924
Macaxeira	0	1440	9948
Pepino	0	312	1794
Maxixe	0	30	19
Guaraná	0	0	0
Café	0	0	0
Cacau	0	0	0
Arroz	0	0	0
Bovinocultura mista	191	210	450
Bubalinocultura	6	4	14
Suinocultura	34	0	0
Ovinocultura	0	15	0
Caprinocultura	0	0	0
Avicultura de corte	292	17	133
Piscicultura	789	5	145
TOTAL	9951	5028	44769

	Santa Isabel do Rio Negro	Novo Airao	Careiro da Varzea
Milho	20	0	1050
Feijão	27	0	38
Farinha de Mandioca	600	960	330
Juta	0	0	0
Cana de açúcar	0	0	0
Malva	0	0	60
Mamão	0	0	0
Maracujá	0	0	480
Repolho	0	0	2960
Pimentão	0	0	160
Abóbora	0	0	0
Macaxeira	0	0	0
Pepino	52	0	2704
Maxixe	0	0	0
Guaraná	0	0	0
Café	0	0	0
Cacau	0	0	0
Arroz	0	0	0
Bovinocultura mista	8	22	1537
Bubalinocultura	1	0	104
Suinocultura	3	20	0
Ovinocultura	0	0	0
Caprinocultura	0	0	0
Avicultura de corte	10	28	12
Piscicultura	1	158	100
TOTAL	721	1188	9535

	Autazes	Humaita	Nova Olinda do Norte
Milho	375	1150	200
Feijão	45	180	36
Farinha de Mandioca	7500	3300	2700
Juta	0	0	0
Cana de açúcar	0	0	0
Malva	0	0	0
Mamão	0	0	0
Maracujá	0	0	300
Repolho	0	0	40
Pimentão	0	0	88
Abóbora	0	0	210
Macaxeira	0	0	480
Pepino	0	0	520
Maxixe	0	0	0
Guaraná	14	0	4
Café	0	120	40
Cacau	0	60	45
Arroz	0	1260	40
Bovinocultura mista	1325	1119	206
Bubalinocultura	318	1	24
Suinocultura	0	235	16
Ovinocultura	34	37	3
Caprinocultura	0	2	2
Avicultura de corte	40	24	30
Piscicultura	143	285	62
TOTAL	9793	7773	5045

	Borba	Manicore	Nhamunda
Milho	100	1750	600
Feijão	11	180	54
Farinha de Mandioca	1440	17100	1290
Juta	0	0	0
Cana de açúcar	0	1000	600
Malva	0	0	0
Mamão	0	0	50
Maracujá	240	300	
Repolho	0	0	0
Pimentão	0	0	0
Abóbora	1050	700	0
Macaxeira	1116	6480	0
Pepino	0	0	0
Maxixe	0	0	0
Guaraná	0	0	0
Café	0	190	0
Cacau	96	105	0
Arroz	70	0	0
Bovinocultura mista	28	119	810
Bubalinocultura	0	4	143
Suinocultura	17	186	117
Ovinocultura	1	3	31
Caprinocultura	0	0	10
Avicultura de corte	8	180	0
Piscicultura	0	138	0
TOTAL	4177	28434	3705

	Barreirinha	São Sebastião do Uatuma	Boa Vista do Ramos
Milho	300	100	300
Feijão	56	17	14
Farinha de Mandioca	453	720	492
Juta	0	0	0
Cana de açúcar	0	0	0
Malva	0	0	0
Mamão	0	0	0
Maracujá	0	0	0
Repolho	0	0	0
Pimentão	0	0	0
Abóbora	70	0	0
Macaxeira	0	0	0
Pepino	0	0	0
Maxixe	0	0	0
Guaraná	15	6	40
Café	0	0	0
Cacau	0	0	0
Arroz	94	70	140
Bovinocultura mista	1096	302	442
Bubalinocultura	161	8	52
Suinocultura	26	0	54
Ovinocultura	24	0	1
Caprinocultura	10	0	4
Avicultura de corte	512	0	20
Piscicultura	0	0	0
TOTAL	2817	1222	1559

	Itacoatiara	Tapaua	Canutama
Milho	1500	675	66
Feijão	81	243	41
Farinha de Mandioca	5700	6600	422
Juta	0	0	0
Cana de açúcar	0	700	56
Malva	0	0	0
Mamão	0	0	0
Maracujá	500	0	0
Repolho	0	0	0
Pimentão	0	0	0
Abóbora	0	0	0
Macaxeira	0	1620	0
Pepino	0	0	0
Maxixe	0	0	0
Guaraná	60	0	0
Café	0	0	0
Cacau	0	0	0
Arroz	140	0	0
Bovinocultura mista	1233	34	91
Bubalinocultura	572	0	0
Suinocultura	74	0	24
Ovinocultura	26	0	0
Caprinocultura	0	0	0
Avicultura de corte	40	13	4
Piscicultura	778	0	0
TOTAL	10702	9885	705

	Codajas	Japura	Fonte Boa
Milho	350	40	250
Feijão	99	9	36
Farinha de Mandioca	1890	360	450
Juta	216	0	0
Cana de açúcar	0	0	500
Malva	1950	0	0
Mamão	550	0	75
Maracujá	680	0	0
Repolho	0	0	0
Pimentão	0	0	0
Abóbora	0	0	0
Macaxeira	0	0	1020
Pepino	0	0	0
Maxixe	0	0	0
Guaraná	0	0	0
Café	0	0	0
Cacau	0	0	0
Arroz	44	0	34
Bovinocultura mista	55	15	65
Bubalinocultura	11	0	17
Suinocultura	25	17	0
Ovinocultura	9	0	0
Caprinocultura	0	0	0
Avicultura de corte	197	1	0
Piscicultura	188	0	0
TOTAL	6263	442	2447

	Carauari	Itamarati	Eirunepe
Milho	125	250	1300
Feijão	9	45	93
Farinha de Mandioca	4878	705	1200
Juta	0	0	0
Cana de açúcar	0	0	3277
Malva	0	0	0
Mamão	0	0	0
Maracujá	0	0	0
Repolho	0	0	120
Pimentão	0	0	96
Abóbora	0	0	0
Macaxeira	0	0	0
Pepino	0	0	0
Maxixe	0	0	0
Guaraná	0	0	0
Café	0	0	36
Cacau	0	0	0
Arroz	0	100	187
Bovinocultura mista	153	60	414
Bubalinocultura	0	0	2
Suinocultura	0	55	21
Ovinocultura	0	1	9
Caprinocultura	0	0	0
Avicultura de corte	4	6	86
Piscicultura	126		18
TOTAL	5294	1222	6859

	Ipixuna	Guajara	Beijamin Constat
Milho	200	600	1000
Feijão	14	11	72
Farinha de Mandioca	240	180	1380
Juta	0	0	0
Cana de açúcar	1680	750	2500
Malva	0	0	0
Mamão	50	0	0
Maracujá	0	0	400
Repolho	0	0	0
Pimentão	0	0	0
Abóbora	0	0	42
Macaxeira	0	0	840
Pepino	0	0	0
Maxixe	0	0	0
Guaraná	0	0	0
Café	0	0	0
Cacau	0	0	0
Arroz	96	280	60
Bovinocultura mista	480	984	20
Bubalinocultura	4	2	0
Suinocultura	0	98	10
Ovinocultura	2	0	3
Caprinocultura	1	0	2
Avicultura de corte	6	0	95
Piscicultura	370	129	0
TOTAL	3143	3034	6423

	Itapiranga	Coari	Tefe
Milho	75	500	400
Feijão	18	135	72
Farinha de Mandioca	1293	4590	24000
Juta	0	0	0
Cana de açúcar	0	1000	1000
Malva	0	608	0
Mamão	50	800	50
Maracujá	20	720	40
Repolho	0	0	72
Pimentão	0	0	14
Abóbora	0	0	32
Macaxeira	0	1440	252
Pepino	0	0	125
Maxixe	0	0	9
Guaraná	0	30	0
Café	0	0	0
Cacau	0	126	2
Arroz	10	60	47
Bovinocultura mista	160	48	45
Bubalinocultura	8	9	7
Suinocultura	5	91	29
Ovinocultura	0	2	6
Caprinocultura	0	3	0
Avicultura de corte	240	20	8
Piscicultura	54	210	52
TOTAL	1934	10391	26263

	Parintins	Novo Aripuana
Milho	300	100
Feijão	36	11
Farinha de Mandioca	10500	1540
Juta	420	0
Cana de açúcar	6000	0
Malva	900	0
Mamão	0	0
Maracujá	0	240
Repolho	0	0
Pimentão	0	0
Abóbora	0	1050
Macaxeira	900	1146
Pepino	0	0
Maxixe	0	0
Guaraná	45	0
Café	0	0
Cacau	0	100
Arroz	70	70
Bovinocultura mista	3120	37
Bubalinocultura	317	0
Suinocultura	147	29
Ovinocultura	36	1
Caprinocultura	30	0
Avicultura de corte	29	8
Piscicultura	57	0
TOTAL	22907	4332



TERMO DE RESPONSABILIDADE

O texto do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “Um Estudo de Localização de Novas Instalações Portuárias Fluviais Públicas de Pequeno e Médio Porte (IP4) no Estado do Amazonas” é de minha inteira responsabilidade. Declaro que não há utilização indevida de texto, material fotográfico ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem o devido referenciamento ou consentimento dos referidos autores.

João Monlevade, 03 de Setembro de 2021.

Nome do Aluno (a)