

São Paulo
2003

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica para obtenção do título
de Mestre em Engenharia.

MODELO PARA PLANEJAMENTO DE SERVIÇOS DE TRANSPORTE
INTERMODAL LONG-HAUL

SÉRGIO PINTO NAZAR

SÉRGIO PINTO NAZAR

MODELO PARA PLANEJAMENTO DE SERVIÇOS DE TRANSPORTE
INTERMODAL LONG-HAUL

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica para obtenção do título
de Mestre em Engenharia.

São Paulo
2003

SUMÁRIO

| | |
|----|--|
| i | LISTA DE FIGURAS |
| ii | LISTA DE TABELAS |
| iv | RESUMO |
| vi | ABSTRACT |
| 1 | 1 - INTRODUÇÃO E APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA |
| 1 | 1.1 - Introdução |
| 2 | 1.2 - A evolução do mercado de transportes/logística no Brasil |
| 4 | 1.3 - As estratégias de consolidação no transporte de carga |
| 7 | 1.4 - Objetivos |
| 8 | 1.5 - Delimitação do trabalho |
| 11 | 2 - REVISÃO DOS MODELOS DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTE INTERMODAL NA BIBLIOGRAFIA |
| 11 | 2.1 - Conceito de planejamento na hierarquia |
| 12 | 2.2 - O problema de planejamento no transporte intermodal |
| 15 | 2.3 - Modelos para planejamento da infra-estrutura em redes de transporte intermodal |
| 18 | 2.4 - Modelos para planejamento de serviços em redes de transporte intermodal |
| 26 | 2.5 - Estudo do impacto do nível de serviço dos transportes na cadeia logística dos clientes |
| 29 | 3 - METODOLOGIA PROPOSTA |
| 29 | 3.1 - Introdução |
| 32 | 3.2 - Os elementos da modelagem |
| 35 | 3.3 - O processo de preparação de dados |
| 45 | 3.4 - O processo de geração de grupos de serviço e fluxo de vagões e de bimotores vazios |
| 49 | 3.5 - A formulação matemática proposta |
| 66 | 4 - ESTUDO DE CASO: PLANEJAMENTO DE SERVIÇOS EM UMA REDE RODOFERROVIÁRIA |
| 66 | 4.1 - Apresentação do sistema em estudo |
| 69 | 4.2 - Mapeamento dos ativos |
| 72 | 4.3 - As demandas de transporte |
| 74 | 4.4 - Cálculo de custos do sistema |
| 82 | 4.5 - Grupos de Serviço e Fluxo de vagões e bimotores vazios |
| 83 | 4.6 - Resultados Iniciais |
| 92 | 4.7 - Análises Complementares |

| | |
|--|-----|
| 4.8 – Conclusões do estudo de caso..... | 95 |
| 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... | 96 |
| 6 – BIBLIOGRAFIA..... | 98 |
| ANEXO 1: LISTAGEM DA PROGRAMAÇÃO EM X-PRESS..... | 100 |
| ANEXO 2: GRUPOS DE SERVIÇO E FLUXO DE VAGÕES E BIMODAIS VAZIOS PARA ESTUDO DE CASO..... | 113 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 2.1 – Níveis de decisão na atividade de planejamento de transportes intermodais..... | 14 |
| FIGURA 2.2 – Exemplo ilustrativo do conceito da modelagem proposta por <i>Crainic</i> | 21 |
| FIGURA 3.1 – Elementos da modelagem..... | 36 |
| FIGURA 4.1 – Rede física do sistema em estudo..... | 68 |
| FIGURA 4.2 – Relação TB/kgf coletada..... | 75 |
| FIGURA 4.3 – Fretes de terceiros X distância de transporte..... | 76 |
| FIGURA 4.4 – Exemplo para cálculo dos parâmetros de tempo de trânsito..... | 79 |
| GRÁFICO 4.1 – Participação de cada modal no transporte das demandas do cenário (%)..... | 84 |
| GRÁFICO 4.2 – Participação de cada modal no transporte das demandas por faixa de valor unitário (%)..... | 85 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| TABELA 1.1 – Relação TKU/vagão das principais ferrovias brasileiras..... | 3 |
| TABELA 1.2 – Movimentação de contêineres nos portos brasileiros..... | 3 |
| TABELA 3.1 – TBL_NOS: Cadastro de nós na malha..... | 36 |
| TABELA 3.2 – TBL_DISTANCIAS: Tabela de cadastro de distâncias entre nós..... | 37 |
| TABELA 3.3 – TBL_TERMINAIS_RODOFERRO: Cadastro do terminal intermodal que atende ao nó referido..... | 37 |
| TABELA 3.4 – TBL_SUBROTAS_FERRO: Índice de sub-rotas ferroviárias..... | 38/ |
| TABELA 3.5 – TBL_CAMINHÕES: Cadastro dos tipos de caminhão e suas frotas..... | 39 |
| TABELA 3.6 – TBL_VAGÕES: Tabela de cadastro dos tipos de vagão..... | 39 |
| TABELA 3.7 – TBL_LOCOMOTIVAS: Tabela de cadastro dos tipos de locomotiva..... | 40 |
| TABELA 3.8 – TBL_NAVIOS: Tabela de cadastro dos tipos de navio..... | 40 |
| TABELA 3.9 – TBL_TRANSBORDO_RODOFERRO: Cadastro das unidades de transbordo..... | 40 |
| TABELA 3.10 – TBL_ROTATEIROS_FERRO..... | 41 |
| TABELA 3.11 – TBL_TRENS: Cadastro das rotas regulares de trens possíveis de serem oferecidas..... | 42 |
| TABELA 3.12 – TBL_DEMANDA: Cadastro de demanda..... | 43 |
| TABELA 3.13 – TBL_DEMANDA_ATIVOS: Informa a compatibilidade entre a demanda e os ativos cadastrados..... | 44 |
| TABELA 3.14 – Código das sub-rotas ferroviárias por onde a demanda passa e os trens que estão transportando..... | 46 |
| TABELA 3.15 – Quadro de compatibilização de ativos..... | 47 |
| TABELA 3.16 – Formação completa de grupos de serviço..... | 48 |
| TABELA 3.17 – Exemplo de fluxo de vagões vazios..... | 48 |
| TABELA 3.18 – Exemplo de fluxo de bimodais vazios rodoferrviários..... | 49 |
| TABELA 4.1 – Cadastro dos tipos de vagão para estudo de caso..... | 69 |
| TABELA 4.2 – Cadastro dos tipos de caminhão frota própria para estudo de caso..... | 69 |
| TABELA 4.3 – Cadastro dos tipos de caminhão agregado para estudo de caso..... | 69 |

| | |
|---|----|
| TABELA 4.4 – Cadastro de tipos de bimodais para estudo de caso..... | 69 |
| TABELA 4.5 – Cadastro de tipos de locomotiva para estudo de caso..... | 70 |
| TABELA 4.6 – Cadastro de tipos de transbordo rodoferroviário para estudo de caso..... | 70 |
| TABELA 4.7 – Trajeto de trens candidatos a serem selecionados na modelagem..... | 70 |
| TABELA 4.8 – Dados de demanda de transporte..... | 72 |
| TABELA 4.9 – Pedidos confirmados X Pedidos atendidos – Contratação de terceiros..... | 80 |
| TABELA 4.10 – Resumo inicial dos resultados..... | 83 |
| TABELA 4.11 – Painel de resumo dos resultados do cenário-base..... | 83 |
| TABELA 4.12 – Resumo das demandas atendidas pelos grupos de serviço..... | 85 |
| TABELA 4.13 – Nós selecionados e capacidade utilizada..... | 88 |
| TABELA 4.14 – Tipo de transbordo rodoferroviário selecionado..... | 88 |
| TABELA 4.15 – Trens selecionados e capacidade utilizada em TB..... | 89 |
| TABELA 4.16 – Capacidade das sub-rotas ferroviárias em trens/dia..... | 91 |
| TABELA 4.17 – Aquisição de ativos..... | 91 |
| TABELA 4.18 – Cenários alternativos para nível de serviço ferro..... | 93 |
| TABELA 4.19 – Resultados da melhoria do nível de serviço ferroviário..... | 93 |
| TABELA 4.20 – Cenários alternativos para nível de serviço com terceiros..... | 94 |
| TABELA 4.21 – Resultados da melhoria do nível de serviço com terceiros..... | 94 |
| TABELA 4.22 – Cenários com redução de custos fixos..... | 94 |
| TABELA 4.23 – Fatores de aumento de lucro para redução dos custos fixos..... | 95 |

malha.

Neste trabalho, procurou-se apresentar uma metodologia para resolução do problema de planejamento de serviços no transporte intermodal, que levasse em conta o nível de serviço oferecido e incorporasse novas restrições e variáveis necessárias para sua aplicação prática nas empresas do setor. Foi proposto um modelo de programação inteira mista que se baseia no conceito de grupos de serviços, como sendo uma composição de alocação de ativos intermediários que transportam uma demanda de uma origem para um destino. A modelagem foi baseada nos conceitos de balanço de massa de ativos e restrições de capacidade para um estado estacionário de

O problema do planejamento de serviços de transporte intermodal foi bastante coberto na literatura específica, porém grande parte dos métodos propostos tem como objetivo a minimização dos custos operacionais, sem levar em conta o impacto do mix de serviços sobre o nível de serviço a ser oferecido. Alguns artigos passaram a incorporar esta variável nas modelagens propostas por meio de inclusão de uma função de penalização como item de custo no sistema. Além disso, estas formulações situavam-se sempre em um nível muito macro, muitas vezes não sendo capazes de responder a questões importantes relativas ao processo de planejamento de transporte intermodal.

O problema de planejamento de serviços de transporte intermodal é um assunto complexo, porém fundamental à sobrevivência das empresas do ramo. Se, por um lado, deseja-se obter o máximo de produtividade dos ativos, é preciso observar o nível de serviço a ser oferecido. Os clientes desse tipo de serviço, normalmente, fazem contratos de longo prazo e estabelecem indicadores de atendimento que, nem sempre, são viáveis para serem cumpridos pela prestadora de serviços. Do outro lado, as empresas de transporte intermodal *long-haul* necessitam saber qual o mix ideal de serviços que vai maximizar seus lucros. Como os contratos são de longo prazo e o custo fixo envolvido é elevado, essas decisões tendem a ser num horizonte de pelo menos um ano.

RESUMO

Ao final, um estudo de caso foi elaborado para avaliar a modelagem do ponto de vista de qualidade dos resultados e desempenho computacional. Para o sistema em estudo, foram examinados diversos cenários, de maneira a responder algumas questões importantes que surgem em um momento específico do processo de planejamento numa empresa de transporte intermodal: os planos anuais de produção.

ABSTRACT

The planning process on intermodal services is a complex but vital issue for intercity freight carriers to achieve their goals. At the same time the companies wish to maximize the productivity of their assets, is important to consider the level of service to be offered. The clients of this kind of service usually make long term contracts with carriers, and need to establish the level of service to be offered. In the odder side, carriers aims to maximize their profits and need to determine de best mix of services to offer. The periodicity in witch those contracts are evaluated is normally one year.

Many methods has been proposed in literature to solve the problem of intermodal services design. In the majority, those methods tried to minimize the total operation costs, without considering the level of service. Some other methods have considered it by including a penalty cost, according to the level of service, in the objective function. Nevertheless, all those methods did not consider important peculiarities and capacities constrains of intermodal systems.

A mixed integer linear formulation is proposed in this work, to determine the bests services to be offered, considering, level of service, as a cost to the carrier, and other important operational restrictions. Its main goal conveys its practical applicability. The formulation is based on the concept of service groups, defined as an specific allocation of intermodal resources (vehicles, terminals, and others), that can be used to move a demand from an origin to a destination. The model determine the bests services groups to meet demands, balancing empty vehicles.

The present formulation was successfully applied to a real case. The results obtained supported the main decisions made in a freight carrier annual production plan.

1 INTRODUÇÃO E APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Neste capítulo, será feita uma abordagem sobre aspectos gerais das empresas de transporte/logística e seus clientes. Será caracterizado o problema de planejamento nessas empresas, cujo correto tratamento torna-se um recurso vital para sua sobrevivência a longo prazo.

Na sequência, serão descritos os objetivos da presente dissertação. Para melhor entendê-los, será feita uma apresentação do conceito de consolidação no transporte de carga e os benefícios que estas estratégias provocam sobre os custos operacionais. Em seguida, será descrito o delimitamento do trabalho proposto, dentro dos conceitos e escopo apresentados no início do capítulo, para, finalmente, definir os objetivos de maneira clara.

1.1 INTRODUÇÃO

O transporte de carga representa um recurso vital no desenvolvimento de um país. No cenário atual de economia globalizada, as empresas têm repensado sua estratégia mundial de distribuição e produção, de maneira a obter vantagem competitiva no custo final de seus produtos. O transporte representa entre um e dois terços do custo total de distribuição de um produto, conforme DAVIS et al. (1996).

Os serviços de transporte podem ainda afetar outros custos dentro da cadeia, como os custos de estoques. O desempenho de um sistema de transporte, medido em termos de tempo de trânsito e sua dispersão em torno da média, pode incorrer em custos de estoques mais elevados.

Essa forte influência do transporte no bom andamento da economia traduz o esforço dos países em realizar uma boa gestão sobre sua malha, através do estabelecimento de políticas e incentivos, visando adequá-la o melhor possível às necessidades da economia de hoje e aos cenários futuros.

Nesse cenário, um processo de planejamento estruturado da malha de transportes, tanto em nível nacional como em nível regional, torna-se ferramenta imprescindível. Abre-se um vasto campo de pesquisa em busca da solução para os problemas de planejamento de transportes mais complexos, tanto no aspecto estratégico quanto no tático e operacional. O presente trabalho estará focado em um problema de planejamento estratégico para um tipo específico de transporte de carga: o transporte intermodal *long-haul*. O transporte *long-haul* pode ser definido como transporte de cargas em longas distâncias, sendo estas cargas consolidadas em unidades inteiras de transporte, normalmente com origem e destino em terminais por onde pode haver consolidação ou desconsolidação de cargas para coleta ou entrega local. Estas entregas e coletas locais constituem outro tipo de transporte, diferente do *long-haul*, e possuem abordagens para estudo totalmente diferentes. É característica desse tipo de transporte (*long-haul*) operar com linhas regulares com horários de chegada e partida nas cidades de origem e destino.

1.2 A EVOLUÇÃO DO MERCADO DE TRANSPORTES/LOGÍSTICA NO

BRASIL

Até meados dos anos 80, as empresas produtoras de bens eram, geralmente, também suas próprias distribuidoras. Possuíam uma frota de caminhões que realizava a distribuição dos seus produtos ao longo de sua cadeia logística. Eventualmente, em meses de pico, contratavam transportadoras para que realizassem algum transporte extra a fim de não perderem vendas. Dependendo do ramo de atuação, poderiam ainda ser usuárias das ferrovias, hidrovias ou portos, todos os sistemas controlados pelo governo.

Esse modelo acabava por implicar, no caso do transporte rodoviário, altos níveis de ociosidade da frota e dos motoristas, todos exclusivos de uma só empresa. Os sistemas ferroviário e hidroviário e os portos tinham altos custos operacionais, baixa eficiência e nível de serviço insatisfatório aos seus usuários, elevando o custo dos produtos finais produzidos.

Com esse cenário, iniciou-se, nos anos 90, um processo de privatização dos portos e ferrovias, visando ao rápido aumento de produtividade desses sistemas, permitindo oferecer

| Ano | Mov. contêineres (TEUs) |
|-------------------|-------------------------|
| 1997 | 1.925.971 |
| 1998 | 2.029.371 |
| 1999 | 2.166.344 |
| Crescimento 97-99 | 12% |

TABELA 1.2 – Movimentação de contêineres nos portos brasileiros

Outro indicador de sucesso dos programas de privatização é a movimentação de contêineres nos portos brasileiros, medida em TEUs, que é uma unidade de volume equivalente a uma unidade de contêiner de 20 pés. Assim, um contêiner de 40 pés equivale a dois TEUs. A tabela 1.2 mostra a evolução do volume nos portos, em TEUs.

TKU significa tonelada quilômetro útil transportada, ou seja, o produto da tonelada transportada pela respectiva distância de transporte. Trata-se do indicador mais comum na medição de produção ferroviária, sendo, inclusive, usado pelo Ministério dos Transportes para medição de metas estabelecidas para as ferrovias. Esse indicador mostra a produtividade sobre o ativo vagão, que obteve um crescimento de 9% de 1999 para 2000. Em 2001, esse indicador cai um pouco em função de novas aquisições desse tipo de ativo por parte de algumas ferrovias. No entanto, na média dos três anos citados, houve um aumento de cerca de 4%.

FONTE: ANUÁRIO ESTATÍSTICO ANTT – 2001

| Ferrovia | 1999 | 2000 | 2001 |
|-----------------|-------|-------|-------|
| ALL – Logística | 1.017 | 1.041 | 1.131 |
| MRS | 2.321 | 2.647 | 2.063 |
| FCA | 908 | 939 | 1.118 |
| EFVM | 4.052 | 4.351 | 4.114 |
| Feroban | 468 | 542 | 693 |
| Média | 1.753 | 1.904 | 1.824 |
| Crescimento | 9% | -4% | |

TKU/Vagão (Mil)

TABELA 1.1 – Relatório TKU/vagão das principais ferrovias brasileiras

serviços mais confiáveis a menores custos para os usuários. A tabela 1.1 mostra a evolução da produtividade no sistema ferroviário.

Uma empresa de transporte pode oferecer um transporte de longa distância para uma determinada carga de um cliente, simplesmente disponibilizando um caminhão que viaje diretamente ao seu destino final. O custo de se oferecer esse serviço pode não ser compatível com o frete que o mercado está disposto a pagar. Isso, muito provavelmente, ocorrerá quando algum

1.3 AS ESTRATÉGIAS DE CONSOLIDAÇÃO NO TRANSPORTE DE CARGA

O princípio que permite a obtenção de resultado financeiro positivo para esse tipo de empresa é a possibilidade de consolidação, ou seja, a utilização de cargas de dois ou mais clientes diferentes em um mesmo espaço físico em terminais e veículos.

No final dos anos 90 e início da década de 2000, essas transportadoras passaram a oferecer, em alguns casos, operações logísticas mais complexas do que o transporte exclusivamente. Os clientes necessitavam que as transportadoras praticassem não somente o transporte de uma origem para um destino, mas, também, a administração da cadeia desse transporte, com operações completas de *inbound* e *outbound* de determinado produto, a partir de uma fábrica ou Centro de Distribuição (CD) do cliente. Os transportes *inbound* representam todas as entradas de produtos em uma fábrica ou CD, enquanto que o *outbound* representa todas as saídas. Essas transportadoras passaram a ser conhecidas como operadores logísticos.

O fato importante é que surgiram empresas privadas provedoras de serviços de transportes, que necessitavam dar lucro para se sustentar em um mercado competitivo, em que o usuário necessita, a cada dia, baixar seus custos com transporte e distribuição, sem comprometer a qualidade do serviço oferecido.

No transporte rodoviário, surgiram grandes empresas especializadas que passaram a realizar toda a distribuição dos produtos das empresas produtoras de bens que, por si só, se desfizeram de seus ativos. Assim, com um mesmo caminhão, essas transportadoras puderam atender a mais de um cliente, reduzindo os níveis de ociosidade de frota, já que antes esses ativos eram exclusivos dessas empresas produtoras de bens. Também no ramo rodoviário, foi possível reduzir os custos médios do transporte.

concorrente dessa empresa oferecer um serviço com custo menor sem o proporcional prejuízo no serviço prestado ao cliente. A redução dos custos unitários de transporte pode ocorrer com a utilização das estratégias de consolidação.

O processo de consolidação é muito característico no mercado de carga fracionada. Nesse mercado, um processo tradicional tem as seguintes características, descritas a seguir:

✓ Coleta urbana em caminhões pequenos (até 50 m³): Caminhões menores coletam cargas nas cidades, ao invés de carretas de grande porte; principalmente em virtude de restrições de circulação e janelas de tempo para coleta – um caminho grande não consegue realizar coletas em um dia a ponto de completar sua lotação, tornando-se anti-econômica sua utilização nessa operação.

✓ Utilização de terminais de consolidação estratégicos: Uma vez coletadas, as cargas são consolidadas para unidades de transporte maiores (carretas de 90 m³ ou aviões). O processo de consolidação de carga é definido como a acomodação de diversas cargas provenientes de veículos menores em veículos de maior porte.

✓ Triagem e classificação de cargas no meio de seu trajeto: Mesmo que a carga já tenha sido consolidada na sua origem para unidades de transporte maiores, esses veículos podem partir sem sua lotação completa. Nesse caso, pode haver a necessidade de nova consolidação no meio de seu trajeto, em terminais que contenham carga para o mesmo destino do veículo.

As vantagens econômicas dessas estratégias parecem óbvias. Há de se considerar, no entanto, que, à medida que se fazem muitas operações de consolidação de carga aumentam os custos de terminais, bem como os tempos médios de entrega e a probabilidade de perdas e avarias nas cargas. A determinação do sistema ótimo de operação constitui a grande questão a ser resolvida. Os modelos de pesquisa operacional são ferramentas que podem contribuir muito nesse sentido.

No transporte *long-haul*, as principais estratégias de consolidação estão basicamente ligadas ao transporte intermodal, conforme descritas abaixo:

✓ Transporte rodoferroviário: Faz-se a coleta da carga no cliente com caminhão e, depois, a carga é transferida para vagões em terminais intermodais. O transbordo pode ser feito com a carga embalada individualmente ou em unidades bimodais, como contêineres e carretas bimodais.

✓ Transporte rodomarítimo: A carga é coletada no cliente por caminhões e transportada até os portos, onde é embarcada em navios. Normalmente, esses navios operam em linhas regulares com datas fixas de partida. Embora ainda existam navios de carga geral, que permitem embarcar carga solta ou paletizada, isso vem se tornando cada vez mais raro, de maneira que esse tipo de transporte opera basicamente com contêineres.

✓ Engate e desengate rodoviário: Essa operação se beneficia do fato de que alguns processos de carga e descarga rodoviária consomem tempos razoavelmente grandes. Assim, o cavalo mecânico desengata da carreta nos locais de carga e descarga, retornando a um terminal da empresa nas proximidades, ficando livre para realizar outras atividades em paralelo como, por exemplo, outra viagem. Ao final do processo de carga/descarga, outro cavalo (ou o mesmo) fará a coleta da carreta para esse terminal para que possa ser utilizada em outra atividade de transporte. Como consequência dessas operações, o ciclo médio dos cavalos mecânicos é menor do que o das carretas, levando à possibilidade de operar com uma relação cavalo/carreta inferior a um (mais de uma carreta por cavalo). Trata-se, portanto, de uma forma de consolidação no transporte rodoviário. Essa estratégia é difícil de ser utilizada no Brasil pelo fato de que a maioria dos clientes possui pouca capacidade de recebimento, o que acaba por acarretar filas para estacionamento nas docas de seus terminais. Assim, o transportador necessita de um cavalo e um motorista em todo o tempo necessário para realizar as manobras de estacionamento da carreta, quando chegar sua vez.

Existem, ainda, outras formas de consolidação como o transporte rodoviário, ferroviário, etc. Assim como no transporte de carga fracionada, essas operações implicam custos maiores de terminais e maiores prazos de entrega para os clientes.

Concluindo, as operações de consolidação podem constituir grande vantagem competitiva para operadores logísticos. Há, no entanto, uma configuração de serviços ótima que equilibra os custos de terminais com os ganhos advindos da consolidação. Fazer este planejamento de maneira estruturada consiste no grande desafio definido como o problema de planejamento de serviços de transporte intermodal.

1.4 OBJETIVOS

O objetivo desta dissertação é propor uma metodologia para o planejamento de serviços de transporte intermodal numa dada rede física, visando maximizar o lucro levando-se em conta o nível de serviço oferecido. Em linhas gerais, a metodologia busca fornecer subsídios para obter resposta a três questões básicas de um processo de planejamento de serviços intermodais:

- ✓ A que demandas (contratos) atender?
- ✓ Qual a melhor maneira de alocar os ativos para atendimento às demandas?
- ✓ Quais os novos ativos que deverão ser adquiridos para execução de serviços?

O horizonte de planejamento será de um ano, período em que, normalmente, são reavaliados os contratos com clientes e obtidos empréstimos para compra de novos ativos. Será feito um estudo de caso de planejamento de uma rede de transportes rodoviário. Para que os objetivos sejam atingidos, será proposta uma formulação matemática que será descrita em etapas posteriores.

1.5 DELINEAMENTO DO TRABALHO

Uma empresa de transporte, para ser competitiva, deve alocar seus ativos e disponibilizar sua estrutura física de terminais e/ou vias de transporte de forma a oferecer serviços que maximizem seus lucros.

O processo de tarifação envolve a decisão de fechamento de contratos de longo prazo ou a espera por oportunidades no mercado *spot*. O mercado *spot* pode ser definido como demandas que surgem nos momentos próximos ao embarque que, normalmente, são difíceis de serem previstas a longo prazo. Quando são fechados os contratos, normalmente as tarifas praticadas são balizadas por médias de mercado. Em contrapartida, há a garantia de volumes a serem transportados, evitando-se o risco de se deixarem ativos parados. O mercado *spot* é mais incerto quanto aos volumes, mas evita o engessamento no processo de tarifação. Nesse caso, a empresa pode aproveitar oportunidades de mercado e praticar tarifas maiores do que as médias. Esse processo, no entanto, pode gerar *overbooking*, devido à incerteza na previsão dos volumes, prejudicando o nível de serviço. Neste trabalho será admitido, para simplificação, que as tarifas são todas de contrato, ou seja, balizadas pelas médias de mercado. Quando citada simplesmente como tarifa, subentende-se tarifa de contrato.

A tarifa, portanto, possui um balizador de mercado que, de certa forma, determina limites no frete a ser cobrado. Isso acontece devido à grande concorrência existente no mercado de transportes. No entanto, essa noção de tarifa-base do mercado vale para um dado nível de serviço, normalmente balizado pelo desempenho do transporte rodoviário comum, predominante no Brasil. Se um outro serviço dentro de uma mesma rota for oferecido, devem-se avaliar os impactos do desempenho desse novo serviço nos custos logísticos dos clientes. Serviços com prazos de entrega menores e pouca variação nesse prazo (confiabilidade) tendem a gerar um benefício nos custos da cadeia logística dos usuários. Por exemplo, um serviço rodoviário expresso (sem parada para descanso de motorista) pode melhorar o nível de serviço, permitindo a adoção de tarifas maiores. O que maior essas tarifas podem ser dependerá do impacto no custos da cadeia logística dos clientes, que varia de acordo com o produto.

Os custos operacionais se dividem em fixos e variáveis. No caso do transporte de carga, normalmente os custos fixos são significativamente maiores do que os variáveis. É de se esperar, portanto, que a maioria dos problemas de otimização no transporte de carga leve em conta o lucro operacional e não somente a margem. A margem pode ser definida como a receita líquida menos os custos variáveis de transporte. Já o lucro operacional é definido como a margem menos os custos fixos da operação. Como consequência, os modelos tendem a focar um maior giro dos ativos e a produzir indicadores de desempenho que meçam a quantidade de produção por unidade de tempo dos equipamentos utilizados. Nesse contexto, as estratégias de consolidação são fundamentais na obtenção de vantagem competitiva.

Este trabalho focará o problema de planejamento de serviços de transporte intermodal. As empresas do ramo de transporte/logística se deparam com este tipo de problema no momento de seus fechamentos anuais, quando buscam determinar, para o ano seguinte, como será a aquisição de ativos, quais ativos atuais devem deixar de ser usados do ponto de vista econômico e como serão alocados os demais ativos dali para frente. Perguntas comuns nesse tipo de planejamento são:

- ✓ Quantos veículos adquirir e de quais tipos?
- ✓ Em quais rotas se pretende alocar os novos ativos e os atuais?
- ✓ Quais modalidades de transbordo estão obsoletas e quais necessitam ser melhor exploradas?

Em linhas gerais, trata-se de determinar como compor os serviços oferecidos alocando seus ativos de maneira a atender à demanda.

O trabalho consistirá na elaboração de uma metodologia para análise estruturada desse problema, por meio da construção de um modelo matemático, aplicado ao transporte intermodal.

Os cenários a serem examinados serão caracterizados por uma dada demanda anual de transporte por origem/destino/mercadoria com suas respectivas tarifas por tonelada e uma rede de infra-estrutura de transportes contendo veículos, terminais e equipamentos de transbordo. A

demanda de transporte será convertida em um dia típico de operação. Já os ativos serão agrupados em diversas combinações possíveis, de forma a movimentar cada demanda de transporte.

Por exemplo, uma demanda de transporte de São Paulo ao Rio de Janeiro pode ser atendida por caminhos alocados a essa rota e pela existência de terminais de apoio em cada uma dessas cidades. Outra alternativa seria o transporte de caminhão até um terminal intermodal rodoferrviário com transbordo para um determinado tipo de vagão e novamente transbordo para caminhão até a entrega final. Todas essas composições de ativos levam a uma determinada utilização dos mesmos e a um determinado nível de serviço para a demanda que está sendo transportada. Essas combinações formam os grupos de serviço, que serão melhor definidos posteriormente. Cada grupo de serviço é como se fosse uma via para transporte de uma demanda do seu ponto de origem ao seu ponto de destino, que possui um determinado custo de operação e determinado nível de serviço, gerando um custo de estoque para os clientes. O modelo determina a melhor composição de grupos de serviço para atendimento a essas demandas, de maneira a maximizar o lucro operacional bruto.

2 REVISÃO DOS MODELOS DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTE INTERMODAL NA BIBLIOGRAFIA

Neste capítulo, será feita uma revisão bibliográfica das formulações de modelos de planejamento de redes e serviços intermodais já propostos na literatura, precedida de uma breve apresentação dos conceitos de planejamento e seus diversos níveis de decisão. Serão levantados os modelos de planejamento no nível estratégico, que constitui o foco desta dissertação, tanto no planejamento de serviços como no da rede física. Serão ainda levantados os modelos de planejamento no aspecto tático, que incorporam variáveis como frequências, horários de partida e chegada e itinerários mais detalhados, com uma breve apresentação de modelos operacionais.

Pelo fato de que a dissertação se encontra mais no âmbito de planejamento do serviço, questões relacionadas ao nível de serviço oferecido serão também abordadas neste capítulo. Para isso, a pesquisa bibliográfica buscou alguns modelos de medição do impacto do serviço de transporte em outros custos dentro da cadeia logística dos clientes.

2.1 O CONCEITO DE PLANEJAMENTO NA LITERATURA

O processo de planejamento é uma atividade vital nas empresas de um modo geral. Segundo REBOUCAS (2001), "...planejamento é um processo desenvolvido para o alcance de uma situação desejada de um modo mais eficiente, eficaz e efetivo, com a melhor concentração de esforços e recursos pela empresa". A definição dos níveis de planejamento muitas vezes é algo confuso para as empresas, especialmente quando se busca separar decisões estratégicas das táticas. De acordo com ACKOFF (1975), "...estratégia e tática são dois aspectos de comportamento. A estratégia relaciona-se com objetivos de longo prazo e com modos de perseguí-los que afetam a empresa como um todo. A tática relaciona-se com as metas de curto prazo e com meios de atingi-las que, geralmente, afetam somente uma parte da empresa."

Assim como colocado, as classificações feitas quanto ao nível de decisão dos modelos estudados buscarão identificar essas diferenças apresentadas.

2.2 O PROBLEMA DE PLANEJAMENTO NO TRANSPORTE INTERMODAL

O problema de planejamento no transporte intermodal é uma questão bastante complexa, devido às inúmeras possibilidades de combinações de variáveis como horários de partida e chegada, itinerários, estratégias de consolidação, frequência do serviço, prioridade, etc.

Por esse motivo, os autores, de um modo geral, procuram separar a abordagem das formulações de acordo com os níveis de decisão requeridos, conforme descrito por CRAINIC et al. (1997). Na literatura, encontram-se modelos para decisões estratégicas, táticas e operacionais.

As formulações voltadas a decisões estratégicas podem ser separadas em duas linhas distintas: os modelos de localização dos elementos de infra-estrutura de uma rede intermodal e os modelos de formação de serviços dentro de uma rede existente.

A primeira linha consiste de modelos de decisão para a localização de nós da rede, como terminais intermodais, portos, terminais rodoviários, etc., bem como do estudo de viabilidade dos arcos, como ramais ferroviários, hidrovias (construção de eclusas) ou mesmo rodovias.

A segunda linha refere-se aos modelos de decisão dos tipos de serviço a serem oferecidos, em que se possam testar estratégias de serviços sobre o resultado final, normalmente constituído pelos custos operacionais adicionais de uma parcela de custo do nível de serviço resultante. Essa linha situa-se num nível intermediário entre o estratégico e o tático. Isso porque, nesses cenários, as decisões já envolvem variáveis como frequência, reposicionamento de vazios e velocidade dos serviços, que possuem um caráter mais operacional do que as anteriores. No entanto, trata-se de decisões que irão nortear o fechamento de contratos de prestação de serviços que são de base, no mínimo, anual. Além disso, os modelos permitem testar estratégias de melhoria em parâmetros do serviço sobre o resultado, tais como tempos de processamento em terminais, entre outros. Assim sendo, esse tipo de modelo será admitido como decisão estratégica. Dentro dessa linha, os modelos pesquisados procuraram responder às seguintes questões referentes ao problema:

✓ *Seleção do serviço a ser executado*: Trata-se da escolha das rotas pelas quais os serviços serão oferecidos.

✓ *Itinerários das rotas*: Uma vez selecionadas as rotas, é preciso definir seu itinerário, definindo os terminais, pátios e linhas férreas por onde elas passarão.

✓ *Políticas em terminais*: Os terminais de consolidação devem possuir políticas claras quanto às estratégias de consolidação. Por exemplo, num terminal rododotferroviário deve-se estabelecer a blocagem mínima de vagões da mesma demanda, abaixo da qual o transporte não é realizado. Essas políticas podem entrar como parâmetros para um modelo de planejamento de serviços ou podem ser variáveis de decisão, para se testar a melhor alternativa entre algumas preestabelecidas.

✓ *Distribuição de veículos vazios*: Uma vez determinados os serviços, com o estabelecimento dos itinerários, é preciso definir como as unidades vazias serão reposicionadas de maneira a atender à demanda requerida.

Os modelos de simulação propostos para a resolução desses tipos de problema são utilizados para se testar uma nova política operacional, gerando respostas mais precisas, especialmente quando fenômenos aleatórios na circulação dos ativos têm grande influência no resultado final.

Por sua vez, os modelos de otimização de redes promovem uma análise sistêmica do problema, identificando mais facilmente os gargalos operacionais e seus impactos no resultado, seja ele lucro, receita ou custos. No presente trabalho, optou-se pelo emprego de modelos de otimização para a resolução do problema de planejamento de serviços de transporte intermodal.

Os modelos de planejamento tático normalmente são trabalhados numa base mensal ou trimestral. Em tais modelos, aparecem como variáveis, entre outras, os horários de partida e chegada de trens e navios e os itinerários completos das rotas. Torna-se possível montar grades horárias para todos os serviços, considerando-se detalhes como janelas de tempo de terminais e

clientes e, com isso, traçar um plano completo de viagem das mercadorias com os horários no serviço porta a porta.

Por fim, os modelos de decisão operacional são, normalmente, modelos multiperíodos, que consideram o posicionamento atual dos ativos e os compromissos futuros de atendimento, decidido como e quando movimentar esses ativos a partir do seu estado atual.

A figura 2.1 mostra, em linhas gerais, o processo de decisão no transporte intermodal *long-haul*.

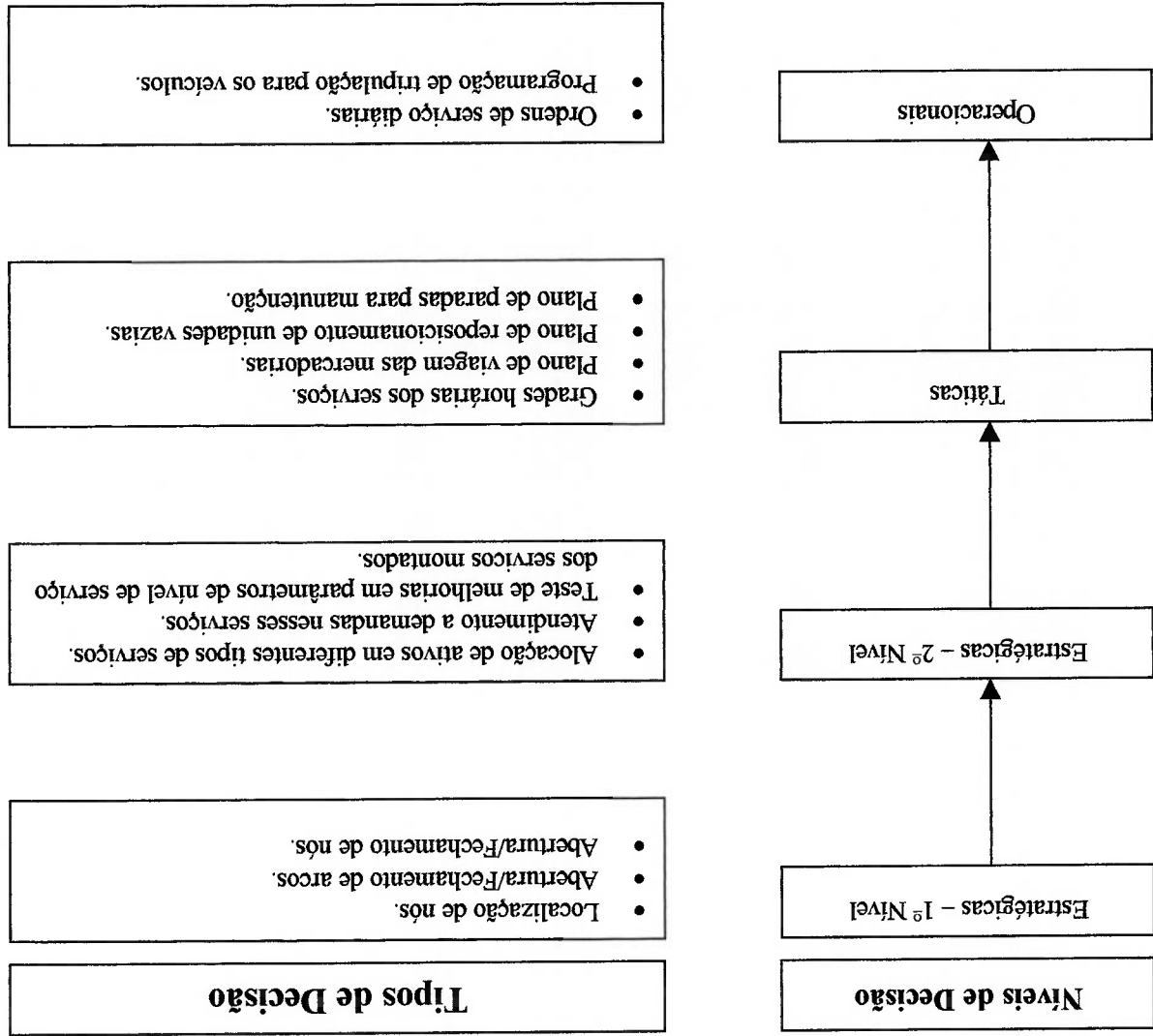


FIGURA 2.1 – Níveis de decisão na atividade de planejamento de transportes intermodais

Este trabalho encaixa-se no segundo nível de decisão apresentado, ou seja, nas estratégias de segundo nível.

2.3 MODELOS PARA PLANEJAMENTO DA INFRA-ESTRUTURA EM REDES DE TRANSPORTE INTERMODAL

Esta classe de modelos se preocupa somente em definir a rede física, que é constituída por nós, contendo demandas e ofertas, unidos por arcos, por onde há um fluxo de mercadorias para atender às restrições de demanda e oferta. Variáveis relativas aos serviços que atenderão a essas demandas tais como frequências, itinerários e programação horária não são levadas em conta. Uma formulação para esse problema e os respectivos métodos de solução são apresentados por MAGNANTI et al. (1986). O modelo matemático tem a seguinte formulação:

Minimizar: $\sum_i \sum_j f_{ij} y_{ij} + \sum_i \sum_p c_{ijp} x_{ijp}$

Sujeito a:

- 1) $\sum_j x_{ijp} - \sum_j x_{jip} = d_{ip}$ p/ todo i,j
- 2) $\sum_p x_{ijp} \leq u_{ij} y_{ij}$ p/ todo i,j
- 3) $x_{ijp} \geq 0$ p/ todo i,j,p

Onde:

i,j = nó de origem ou destino de demanda

p = produto do tipo p

Variáveis de decisão:

x_{ijp} = variável de decisão não negativa: indica a quantidade do produto p transportada de i para j;
 y_{ij} = variável de decisão binária: assume valor 1, se o arco compreendido entre os nós i e j permanecer "aberto" e 0, em caso contrário.

Parâmetros:

c_{ijp} = custo para transportar uma unidade do produto p de i para j ;
 f_{ij} = custo fixo de se manter aberto o arco de i para j ;
 u_{ij} = capacidade de escoamento de i para j ;
 d_p = demanda no nó i do produto p .

O modelo acima descrito busca minimizar o custo total, o fixo mais variável, de operação de uma rede de transportes, que existirá para atender a demandas e ofertas. Como restrições, tem-se, em (1), o balanço de massa de cada nó, garantindo o atendimento às quantidades solicitadas ou ofertas. Nessa restrição, quando $d_p > 0$, esse parâmetro representa a oferta do produto p no nó i ; quando $d_p < 0$, então $-d_p$ representa a demanda do produto p no nó i . A formulação admite que há um equilíbrio entre oferta e demanda do produto p nos nós da rede, isto é $\sum_i d_p$.

Em (2), busca-se garantir que o fluxo total que passa em cada arco (i,j) não seja superior à sua capacidade e que, sempre que existir o fluxo de produto no arco (i,j) , esse arco deve estar aberto. A última restrição trata-se da não negatividade das variáveis de fluxo.

Essa formulação, apesar de simples, traz uma característica particular: o fato de o custo variável estar associado não somente à rota (i,j) , mas também ao produto (p) a ser transportado. Assim, é possível diferenciar custos de diferentes produtos, ainda que numa mesma rota, o que permite a composição de custos logísticos totais na modelagem, incorporando também custos de estoques, manobras de encoste e desencoste de vagões (no caso de transporte ferroviário) associados a cada produto.

Essa abordagem tem um foco principal no problema de planejamento estratégico e é adequada aos problemas de planejamento de malhas ferroviárias em que os arcos possuem altos custos fixos de manutenção.

Essa modelagem pode ainda ter duas outras restrições:

$$4) \sum_i \sum_j f_{ij} * y_{ij} \leq B$$

$$5) x_{ijp} \leq u_{ijp} \quad p/\text{todo } i,j,p$$

A restrição (4) incorpora o limite de orçamento para se manter arcos operando. Trata-se também de uma forte restrição na prática do planejamento estratégico das ferrovias. Já a restrição (5) estabelece uma capacidade de transporte para cada produto dentro de cada arco. Isso acontece muito quando cada produto utiliza um tipo de veículo específico, seja caminhão ou vagão. Nesse caso, a capacidade de um produto dentro de um arco estaria limitada à disponibilidade de um ativo específico.

Para que esse modelo considere custos fixos de nós, basta incluir uma variável binária de decisão de abertura/fechamento de nós de acordo com o total de volume que venha a passar por aquele nó.

Na modelagem acima, não foram explorados os itinerários das rotas. Para incorporar essa etapa, foi introduzido o conceito de caminhos (itinerários) para as demandas. Segundo CRAINIC et al. (1999), um caminho (itinerário) é uma dimensão do problema (I) que representa uma sequência de arcos (i,j) que compõem o itinerário para uma rota específica. Para identificar se um itinerário (I) passa pelo arco (i,j) é usado o parâmetro δ_{Iij} , que assumirá valor 1, em caso afirmativo e valor 0, caso contrário.

Essa abordagem permite determinar os diversos roteiros que levariam uma demanda ao seu destino final, cabendo ao modelo decidir quais desses seriam carregados e quais não são interessantes de serem oferecidos, dependendo da composição de custos por produto e por arco. Com esse conceito, a modelagem, que antes possuía um enfoque muito mais de rede física, começa a incorporar variáveis relativas ao serviço oferecido, assunto que será melhor explorado na seção seguinte.

Essa classe de modelos busca atingir um difícil objetivo das empresas hoje chamadas de operadores logísticos, que é o de determinar qual a melhor maneira de oferecer serviços logísticos, garantindo nível de serviço competitivo para os clientes. Se, por um lado, essas empresas possuem uma limitação de ativos e recursos e necessitam garantir rentabilidade aos mesmos, por outro, um serviço otimizado, sob o ponto de vista de custos, pode gerar um nível de serviço pobre, além de outros custos para os clientes dentro da cadeia logística. Nesse caso, há o risco de os operadores

ser introduzidos na modelagem, tornando o problema mais complexo. Dessa maneira, aspectos como frequência, atrasos e tempos de trânsito passam a ser considerados na modelagem, tornando o problema mais complexo. Um outro enfoque dado ao planejamento intermodal leva em consideração as variáveis relativas ao serviço oferecido. Esses modelos, além de determinarem o carregamento dos nós e arcos para atendimento a uma demanda, incorporam variáveis relativas ao serviço que realizará este transporte. Dessa maneira, aspectos como frequência, atrasos e tempos de trânsito passam a ser introduzidos na modelagem, tornando o problema mais complexo.

2.4 MODELOS PARA PLANEJAMENTO DE SERVIÇOS EM REDES DE TRANSPORTE INTERMODAL

Existem outros tipos de abordagem propostos por TAYLOR et al. (2002). Nesse trabalho, foi elaborada uma heurística de decisão para localização geográfica de terminais intermodais rodoviários, baseada no conceito de minimização da tonelada milha total improdutiva no sistema. A improdutividade referida nesse modelo consiste na soma da parcela de milhas percorridas por unidades vazias com a parcela resultante da diferença entre as milhas percorridas pelas unidades carregadas, de acordo com a localização dos terminais, e as milhas que seriam percorridas por essas mesmas unidades se trafegassem em linha reta. Os autores alegam que os critérios de decisão para localização dos terminais usados pelas empresas do ramo levavam em conta apenas o roteiro mais curto para as demandas, sem se preocupar com o montante de viagens vazias que surgiriam para reposicionamento e atendimento a essas demandas.

Essa formulação permite selecionar arcos e, eventualmente, nós dentro de uma rede prestabelecida para que se mantenham abertos. Ou seja, trata-se do planejamento da rede, determinando se arcos e nós, previamente selecionados, deverão permanecer abertos ou não.

logísticos perderem esses clientes, ou terem que reduzir suas tarifas, já que o serviço está otimizado em termos de custo, porém com uma margem ruim.

Buscando atingir esses objetivos, foi proposta uma modelagem por CRAINIC et al. (1986), descrita em seguida.

Seja uma rede de transportes representada por nós $\delta(i)$, $\delta(j)$ e arcos $A(i,j)$. Os nós podem pertencer a diversos grupos τ , de acordo com as funcionalidades que eles podem exercer (por exemplo, um terminal intermodal rodoferroviário, um porto, etc.). A modelagem possui parâmetros e equações que introduzem as questões relativas ao serviço a ser oferecido e à demanda requerida por esses serviços.

Um serviço $s \in \mathcal{S}$ é definido pela sua rota r_s , contendo algumas características como:

- ✓ τ_s : Conjunto de nós por onde o serviço passa.
- ✓ Π_s : Conjunto de sub-rotas do serviço s , tal que cada sub-rota π_{sk} é um pedaço de r_s . Por exemplo, admita-se que a rota r_s passe pelos nós do conjunto τ_s de maneira que o conjunto de nós que a compõe seja formado pelos nós 1, 2 e 3. Uma sub-rota π_{sk} pode ser composta apenas pelos nós 1 e 2, para $k=1$. Outra sub-rota π_{sk} , para $k=2$, pode ser composta pelos nós 2 e 3.
- ✓ θ_s : Classe do serviço s , indicando modal, restrições de circulação, velocidade e prioridade.
- ✓ u_{sk} : Capacidade do serviço s em cada sub-rota $\pi_{sk} \in \Pi_s$; u_{sk} é o mínimo entre u_s capacidade nominal do serviço s , e $u_{ij\theta_s}$, capacidade do serviço de classe θ_s nos arcos $(i,j) \in \pi_{sk}$.

O conjunto de nós por onde o serviço passa define o seu itinerário. Já o conjunto de sub-rotas permite segregar na modelagem segmentos dentro da rota com características de circulação homogêneas.

A classe do serviço é um parâmetro que permite separar, no modelo, serviços diferentes, mesmo que dentro de uma mesma rota. Por exemplo, no transporte ferroviário, a adoção de trens expressos, com prioridade nos cruzamentos, é um serviço diferenciado de um trem comum, possuindo, por exemplo, menores tempos de trânsito e atraso, estando, no entanto, na mesma rota.

Por fim, o parâmetro n_k incorpora o fato de que, em muitos casos, a capacidade de transporte em longas distâncias é limitada em um trecho específico no seu trajeto. Citando novamente o exemplo do transporte ferroviário, os trens diretos de longas distâncias ficam limitados ao trecho ferroviário de menor capacidade.

O outro lado da modelagem é a demanda de transporte, que é constituída por um volume a ser transportado entre cada par de nós (i,j) e para cada produto p . Uma demanda do produto p , w_p , a ser transportada do nó i para o nó j pode se utilizar de diferentes itinerários. Um itinerário $l \in \xi_p$ (i,j) de uma demanda é uma opção de rota, definida pela sequência de nós, por onde a demanda de transporte pode trafegar da sua origem até seu destino final. O conjunto de itinerários l para uma demanda w_p (i,j) define todas as possíveis rotas que podem levá-la do seu nó de origem até o destino. Para um itinerário $l \in \xi_p$ (i,j) , portanto, existe uma rota r_p , com as seguintes características:

- ✓ r_p : conjunto de terminais por onde o itinerário l do produto p passa;
- ✓ S_p : sequência de serviços de que o itinerário l do produto p se utiliza.

O primeiro parâmetro estabelece o itinerário físico para a demanda, ou seja, apenas a sequência de nós. Já o segundo, determina como essa demanda será levada dentro deste itinerário. Ou seja, quais serviços combinados farão o transporte dessa demanda dentro do seu itinerário. Obviamente, as rotas dos serviços devem coincidir com a sequência de nós do itinerário em algum ponto, de maneira que o itinerário da demanda deverá ser totalmente percorrido pelo conjunto de serviços. A figura 2.2 tem a finalidade de ilustrar melhor esses conceitos:

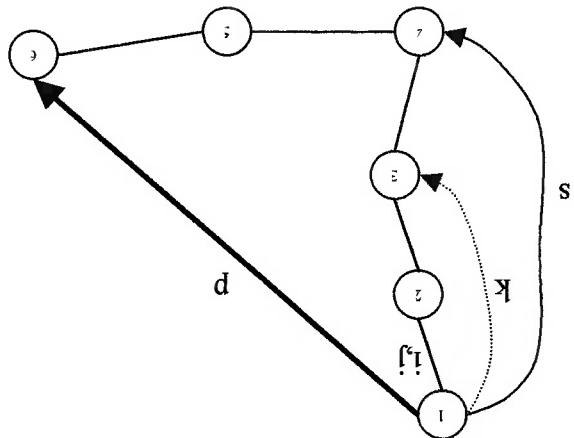


FIGURA 2.2 – Exemplo ilustrativo do conceito da modelagem proposta por *Crainic*

Nessa figura, há uma demanda de transporte w_p (1,6) do produto p entre o nó 1 e o nó 6. Uma opção é utilizar o itinerário l constituído pelos nós 1,2,3,4,5 e 6. Para levar essa demanda por esse itinerário, utiliza-se inicialmente o serviço s , que possui como rota os nós 1,2,3 e 4. Para a continuação do transporte dessa demanda, deverá haver outros serviços cujas rotas incluam os arcos (4,5) e (5,6). Por sua vez, existe uma sub-rota k de s , definida pelos arcos (1,2) e (2,3); essa segmentação dentro da rota de s acontece pelo fato de a capacidade do serviço s nos arcos (1,2) e (2,3) ser diferente da capacidade no arco (3,4).

É interessante observar que a independência entre a rota da demanda (itinerário l) e a rota dos serviços s caracteriza o problema como intermodal, pois há possibilidade de combinação de quaisquer serviços, independentemente do modal utilizado e de suas características. Outro fator importante a ser observado é que essa possibilidade de combinação de diferentes serviços permite determinar o tempo de trânsito e outras características relativas ao nível de serviço. Assim como os modelos de rede descritos anteriormente, as características do fluxo são definidas por produto. As variáveis desse modelo são a parcela de demanda do produto p transportado pelo itinerário l (h_p) e as frequências dos serviços s (y_s). O modelo é descrito pelas seguintes equações:

$$\text{Minimizar: } \sum_{s \in \mathcal{S}} \{\psi_s(y)\} + \sum_{p \in \mathcal{P}} \sum_{l \in \mathcal{I}_p} \{\Phi_{lp}(y,h)\} + \Theta(y,h)$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned} \sum_{l \in \mathcal{L}_p} h_{lp} &= w_p & p/\text{todo } p \in \mathcal{P}; \\ y_s &\geq 0 \text{ e inteiro} & p/\text{todo } s \in \mathcal{S}; \\ h_p &\geq 0 & p/\text{todo } p \in \mathcal{P} \text{ e } l \in \mathcal{L}_p; \end{aligned}$$

Na formulação acima, $\psi_s(y)$ representa o custo fixo de se operar o serviço s na frequência y , $\Phi_p(y, h)$, o custo variável de se transportar a demanda p pelo itinerário $l \in \mathcal{L}(y, h)$, a penalização em forma de custo variável dos atrasos originados por se operar o serviço s com um nível de saturação de tráfego h na frequência y .

A modelagem, portanto, não incorpora o fator capacidade como restrição, mas, sim, como uma função $\Theta(y, h)$ na fórmula do custo (função objetivo), como uma penalidade por conta de atrasos. Assim, quanto mais um serviço estiver carregado, maiores serão os atrasos na sua execução, não possuindo uma capacidade finita. Essa função, normalmente, não é linear, sendo incorporada, para esses casos, uma fórmula da teoria de filas.

Esse modelo proposto possui uma estrutura de programação não linear, inteira mista. Trata-se de um problema multiproducto, multimodal de fluxo em rede. Não existe, até o momento, um método para a solução exata desse problema. Vale ressaltar que essa modelagem possui um caráter bastante genérico para o problema. Por exemplo, um problema dessa natureza que envolva o transporte ferroviário requer um equacionamento que represente com mais detalhes as restrições. Isso porque a ferrovia pode limitar o transporte pela capacidade da via permanente, pelo número de vagões do sistema, pelo número e capacidade de locomotivas, pela capacidade dos pátios, etc.

Devido à alta complexidade do sistema ferroviário, há, na literatura, modelos específicos relativos ao problema de formação de composições ferroviárias. THOMET (1971) apresentou uma heurística baseada em economias, com o objetivo de minimizar custos. Sua técnica baseia-se na formação de trens diretos em cada ponto de origem de demanda para cada ponto de destino. A heurística proposta busca substituir os trens diretos por uma sequência de trens, em que os vagões passariam a fazer conexões até chegarem aos seus destinos finais. O impacto dessas substituições

pode ser a redução da necessidade total de locomotivas no sistema, um melhor aproveitamento das locomotivas ou o aumento de custos devido à maior necessidade de operações de triagem e classificação em pátios intermediários. Sempre que as substituições reduzem os custos totais ela é consolidada até que não haja mais economias

Uma formulação para o problema foi proposta por MURGEL (1998), buscando incorporar algumas importantes características desse tipo de transporte. Abaixo, será descrita tal formulação.

Sejam os conjuntos:

✓ $G = (N, A)$: grafo direcionado que representa a rede física;

✓ N : conjunto de nós do grafo que representam os pátios;

✓ A : conjunto de arcos do grafo que representam as vias;

✓ $G_s = (N_s, A_s)$: grafo direcionado que representa uma rede de serviços;

✓ N_s = conjunto de nós da rede de serviços, representando origens e destinos dos trens;

✓ A_s = conjunto de arcos que representam os trens "k";

✓ V = conjunto de vagões;

✓ T : conjunto de locomotivas, cujos elementos são indicados pelo índice $t = 1, 2, 3, 4, \dots, |T|$;

✓ R : conjunto de rotas definidas como seqüências ordenadas de nós entre todos os pares

origem-destino para os quais exista um tráfego esperado;

✓ M : conjunto de produtos a serem transportados entre pares origem-destino da rede, em

que cada elemento do conjunto é representado pelo índice m tal que $m = (O, D, P, R_m)$

com $O \in N, D \in N, P \in N$, P equivalente a um produto e R_m denotando a rota do elemento m ;

✓ R_m : seqüência ordenada de arcos, de modo a definir um caminho entre a origem e o

destino da carga m , definida para cada elemento $m \in M$;

✓ R_θ : seqüência de arcos da rede física que compõem o arco "θ" da rede de serviços $R_\theta =$

$\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$ com $a_i = (i, j) \in A, i \in N \text{ e } j \in N$.

Admite-se como sendo conhecidos:

- ✓ C_{mv} : custo por unidade de vagão para transportar a carga m no vagão do tipo v , da origem ao destino;
- ✓ P_m : receita por unidade de vagão para transportar a carga m no vagão do tipo v , da origem ao destino;
- ✓ C_{la} : custo por unidade de locomotiva do tipo l no arco a ;
- ✓ B_{la} : capacidade de tração da locomotiva l no arco a ;
- ✓ D_m : demanda em toneladas úteis da carga m ;
- ✓ N_{la} : número máximo de locomotivas do tipo l no arco a colocadas a um único trem;
- ✓ VH_v : vagões horas disponíveis do vagão v ;
- ✓ LH_l : locomotivas horas disponíveis da locomotiva l ;
- ✓ TM : menor trem aceitável em toneladas brutas;
- ✓ U_{vm} : capacidade útil do vagão v ;
- ✓ PP_v : tara do vagão v ;
- ✓ rv : comprimento do vagão v ;
- ✓ t_j : tempo de percurso do trem j ;
- ✓ tc_m : tempo variável associado à carga m .

E sejam as variáveis de decisão:

- ✓ f_θ = número de viagens do trem θ no período de planejamento;
- ✓ X_θ^{mv} = número de vagões do tipo v que transportam a carga m no trem θ ;
- ✓ y_θ^{la} = número de locomotivas do tipo l no arco a colocadas ao trem θ .

Tem-se a seguinte formulação:

Função Objetivo: Maximização de lucro

$$Z = \sum^{(m)} P_m [\sum^{(v)} f_\theta (X_\theta^{mv})] - [\sum^{(\theta)} f_\theta (\sum^{(l,a)} C_{la} y_\theta^{la}) + \sum^{(\theta)} f_\theta (\sum^{(m,v)} C_{mv} X_\theta^{mv})]$$

Sujeita às restrições:

- 1) $\sum_{\theta \in \Theta} f_{\theta} X_{\theta}^{mv}(U^{mv}) \leq D_m$ p/ todo m;
- 2) $\sum_{\theta \in \Theta} \sum_{v \in V} X_{\theta}^{mv}(U^{mv} + pp_v) \leq TG$ p/ todo θ ;
- 3) $\sum_{\theta \in \Theta} \sum_{v \in V} X_{\theta}^{mv}(U^{mv} + pp_v) \leq TM$ p/ todo θ ;
- 4) $\sum_{\theta \in \Theta} \sum_{m \in M} X_{\theta}^{mv} [f_{\theta} + X_{\theta}^{mv}(tc_m)] \leq VH_v$ p/ todo v;
- 5) $\sum_{\theta \in \Theta} \sum_{v \in V} X_{\theta}^{mv}(U^{mv} + pp_v) \leq B_{ia} y_{ia}^{\theta}$ p/ todo θ e todo $a \in R_{\theta}$;
- 6) $y_{ia}^{\theta} \leq NL_{ia}$ p/ todo θ e todo $a \in R_{\theta}$;
- 7) $\sum_{\theta \in \Theta} \sum_{a \in R_{\theta}} f_{\theta} y_{ia}^{\theta} t_{ja} \leq LH_j$ p/ todo j;
- 8) $y_{ia}^{\theta} \geq 0$ e inteiro p/ todo θ e todo $a \in R_{\theta}$;
- 9) $f_{\theta} \geq 0$ e inteiro p/ todo θ ;
- 10) $X_{\theta}^{mv} \geq 0$ e inteiro p/ todo θ e todo m e todo v.

A restrição (2) impõe que a quantidade de carga transportada do tipo m não supere a demanda. As restrições (3) e (4) impõem limites mínimos e máximos aos tamanhos dos trens. O limite mínimo está associado à viabilidade econômica de formação dos trens, já o limite máximo refere-se ao limite operacional dos trens. A restrição (5) refere-se ao limite de utilização de vagões em vagões.hora. Pelo fato de que, nessa formulação, os tempos de patios e terminais dos clientes (tc_m) serem dependentes da quantidade de carga movimentada, essa restrição torna o modelo não linear. A restrição (6) impõe que a quantidade, em toneladas brutas, alocada a um trem, não ultrapasse a capacidade de tração do conjunto de locomotivas designadas para aquele trem. A restrição (7) impõe um número máximo de locomotivas por trem em cada arco, representando uma restrição que está associada a questões operacionais e de segurança. As restrições (8) e (9) limitam a utilização de locomotivas no sistema ao seu valor de disponibilidade máxima em locomotivas.hora. As restrições (9), (10) e (11) garantem a não negatividade das variáveis e impõem que elas sejam inteiras.

A formulação apresentada não incorpora a questão do reposicionamento de vagões vazios. Nesse modelo, os vagões foram tratados como se estivessem em circuitos fechados, ou seja, a mesma quantidade de vagões utilizada para transportar uma demanda de uma origem para um destino da malha é a que retorna vazia para seu ponto de carregamento. Essa simplificação ignora

o fato de que algumas cargas são retorno de outras e que é possível realocar vagões vazios em pontos de carregamento mais perto do destino de outra carga, de maneira a minimizar a viagem vazia total (em relação ao modelo de ciclos fechados). Essa é uma prática comum nas ferrovias.

Apesar do fato colocado, a formulação incorpora uma série de restrições importantes para que um modelo de análise do transporte ferroviário se aproxime mais da realidade, representando grande contribuição para evoluções futuras. Na sequência do trabalho, a autora propôs uma heurística para a resolução do problema, com a formação inicial de trens diretos seguido de um processo de refinamento, de maneira a incorporar também o problema do reposicionamento de vagões vazios.

A metodologia apresentada nesta dissertação busca explorar o conceito desenvolvido por CRAINIC, de planejamento de serviços, considerando restrições importantes relativas aos modos de transporte como apresentadas, no caso do transporte ferroviário, por MURGEL.

2.5 ESTUDO DO IMPACTO DO NÍVEL DE SERVIÇO DOS TRANSPORTES NA CADEIA LOGÍSTICA DOS CLIENTES

O impacto do nível de serviço do sistema de transportes sobre os custos da cadeia logística dos clientes é outro assunto largamente discutido na literatura.

Um modelo para avaliação de desempenho das empresas, levando em conta nível de serviço oferecido e produtividade, denominado SCOR, foi desenvolvido pelo Supply Chain Council (1995). Segundo esse modelo, o desempenho logístico de uma empresa estaria associado a quatro fatores básicos: confiabilidade, flexibilidade e rapidez de resposta às necessidades dos clientes, custos operacionais e produtividade dos ativos. Os dois primeiros seriam parâmetros de qualidade do serviço, voltados para os clientes. Os dois últimos seriam medidas relativas à produtividade das empresas, sendo, portanto, questões mais internas. O modelo sugere que todo e qualquer sistema de avaliação de desempenho siga indicadores de gestão que estejam relacionados a algum desses quatro itens.

Segundo BALLOU et al. (1978), os três grandes fatores que influenciam a decisão dos clientes sobre um ou outro serviço de transporte são:

✓ Preço: É o próprio frete cobrado pelo transporte, adicionando eventuais parcelas relativas a seguro, ou outras tarifas de terminais.

✓ Tempo de trânsito e sua dispersão em torno da média: São parâmetros do transporte que acarretam custos de estoques para os clientes nas pontas e em trânsito.

✓ Avarias: As avarias, normalmente, são cobertas pelo seguro, no que diz respeito ao valor da carga em trânsito. Existe, porém, o custo da perda da venda daquele produto que, além de provocar um prejuízo financeiro mensurável, prejudica o nível de atendimento do dono da carga com seu comprador final.

Esses conceitos não levam em conta o fator flexibilidade no atendimento, muito discutido por outros autores. Segundo o modelo SCOR, foi proposto por LAI et al. (2001), um modelo para avaliação de desempenho das empresas de transporte. Como conclusões, vinte e seis indicadores de performance foram desenvolvidos e obtiveram alta correlação com a performance da companhia. Dentre os indicadores, uma série deles envolvia questões relativas à flexibilidade.

Mesmo que a empresa conheça os fatores que influem no desempenho da companhia, o peso que se dá a cada um deles é uma questão a respeito da qual não há uniformidade de opiniões dentro das empresas. Foi desenvolvida por GRANEMANN et al. (2000), uma metodologia para seleção de sistemas de transportes de acordo com critérios de desempenho das transportadoras candidatas. Em seguida, foi feito um estudo de caso no qual três transportadoras concorriam para a prestação de serviços na empresa que realizou a avaliação. Os indicadores colocados se assemelham muito aos apresentados por LAI et al. (2001). Como resultados, surpreendentemente as três transportadoras foram selecionadas por diferentes avaliadores da mesma empresa. A que venceu obteve 50% das preferências, enquanto que a segunda e a terceira obtiveram 30% e 20%, respectivamente.

O objetivo desta seção foi expor a complexidade do assunto referente à avaliação de nível de serviço das empresas de transporte, bem como buscar alguns dos pontos de vista presentes na literatura. Não faz parte do escopo deste trabalho discutir modelos de avaliação dessa natureza, pois trata-se de um assunto complexo que compõe uma linha de pesquisa em separado. Para a metodologia deste trabalho, apresentada na sequência, os fatores relativos ao nível de serviço incorporados na modelagem foram o tempo de trânsito e sua dispersão em torno da média.

3 METODOLOGIA PROPOSTA

Neste capítulo, será descrita a metodologia proposta para a resolução do problema de planejamento de serviços intermodais. Serão discutidos conceitos preliminares necessários para o entendimento da modelagem matemática, tais como o de grupos de serviço, fluxos de vagas vazias e fluxo de bimodais vazios. Em seguida, será descrita, de maneira detalhada, a formulação do modelo de programação linear mista. Concluindo, será apresentada o método de geração de todos os parâmetros de entrada do modelo para, no capítulo seguinte, ser discutido um estudo de caso real.

3.1 INTRODUÇÃO

A metodologia proposta busca representar as equações apresentadas por CRANIC e ROUSSEAU (1986) para um problema de planejamento de redes intermodais de uma maneira mais detalhada, considerando os aspectos relevantes das operações dos diversos modais presentes na modelagem. Assim sendo, o modelo proposto contribuirá no sentido de promover um método viável de resolução do problema de planejamento de serviços, considerando todos os aspectos operacionais que possam ter grande influência nos resultados. O método seguirá uma etapa de preparação de dados, outra de composição de grupos de serviço, conforme será visto mais adiante, e outra referente à utilização do modelo matemático proposto.

O modelo matemático que será apresentado possui como características básicas os cinco elementos indicados abaixo:

✓ *Submodelo de custos:* A função objetivo contempla os custos fixos e variáveis das operações propostas.

✓ *Equações de balanço de massa de ativos:* As operações são definidas em seu estado estacionário. Assim sendo, o balanço de massa de entradas e saídas dos ativos nos nós é outro elemento importante.

✓ *Os fluxos de bimotores vazios:* É a combinação de ativos que permite o transporte de unidades bimotores vazias de um ponto de destino de uma demanda até outro ponto de origem da mesma ou de outra demanda. Os bimotores são equipamentos de acondicionamento de carga que podem ser carregados em diversos modos por meio de equipamentos específicos de transbordo.

✓ *Os fluxos de vagões vazios:* É a combinação de trens que pode transportar vagões vazios de um ponto de destino ferroviário de uma demanda até um ponto de origem ferroviária de outra demanda.

✓ *Os grupos de serviço:* É uma combinação de ativos colocados em arcos da malha, que permitem o transporte de uma determinada demanda.

Para a elaboração do modelo, são utilizados três conceitos importantes:

✓ *Restrições de capacidade nos arcos e nós:* Constitui a restrição da própria rede física.

✓ *Restrições de compatibilidade de operações:* Determinadas operações não podem ocorrer em determinados arcos ou nós e algumas operações somente podem ocorrer na presença de outras no mesmo arco. Por exemplo, não pode haver circulação de caminhões em arcos ferroviários. Para haver transporte de contêineres vazios em arcos ferroviários, é preciso que, no mesmo arco, haja circulação de vagões que possam transportar esses contêineres.

✓ *Restrições de capacidade em função da quantidade de ativos disponíveis:* As operações possuem tempos de ciclo e as demandas de transporte uma cadência diária requerida. Isto requer uma determinada quantidade de ativos para atendimento de uma dada demanda em um dado tipo de operação. Entretanto, os ativos são finitos na modelagem.

Esses conceitos são pontos centrais da modelagem e da metodologia. Eles carregam informações que serviram de parâmetros para que a formulação matemática funcione. Por exemplo, o grupo de serviço possui como atributos a origem e o destino ferroviário (quando houver), o tipo de caminho que circula da origem da demanda até um determinado ponto de transbordo, o tipo de vagão que circula em um determinado trem em determinado arco da malha, etc.

Os grupos de serviço podem transportar, em algum trecho do trajeto ou em todo ele, as demandas em veículos de terceiros. Isso significa que as restrições de balanço de massa e de tamanho de frota devem saber identificar essas etapas, de maneira a não cometer erros na modelagem.

É importante considerar o transporte por terceiros, pois há um mercado considerável de caminhos autônomos no Brasil. Grande parte das transportadoras rodoviárias atende seus clientes, em um determinado percentual, com frota própria (nesse caso da própria transportadora, diferentemente dos conceitos apresentados nas seções 1.1 e 1.2); outra parte da demanda é atendida com frota de agregados e de terceiros. Isso ocorre porque os custos de contratação, que são conhecidos no mercado como carta-frete, normalmente são bastante inferiores aos custos de se operar com frota própria. Há, no entanto, uma limitação na capacidade de contratação de terceiros em determinados pontos para determinadas rotas. Além disso, o transporte por terceiros acarreta um custo de estoque diferente do transporte com frota própria, pelo fato de os tempos de trânsito serem mais incertos.

Outra modalidade de transporte rodoviário consiste nos caminhos agregados. Trata-se de caminhos que não pertencem à transportadora, no entanto, o motorista possui um contrato de exclusividade no atendimento aos clientes dessa transportadora. Além disso, eles se utilizam de toda a infra-estrutura de manutenção, abastecimento e terminais da transportadora, como obrigações também de contrato. Por esse motivo, os fretes são tabelados por rota e o motorista não corre o risco de não ter carga para transportar em um determinado momento. No entanto, não tem a possibilidade de atuar no mercado *spot*, como no caso dos caminhos de terceiros. É um modelo intermediário entre o transporte com frota própria e com terceiros.

A rede de transportes disponível é representada por arcos (i,j) e nós, $i \in I$ (conjunto de nós da malha). Os arcos são orientados e possuem capacidade limitada. No caso de linhas férreas, essa capacidade deverá estar na mesma ordem de grandeza dos volumes que passarão por esses arcos. No caso dos transportes marítimo, rodoviário e fluvial, as capacidades dos arcos não são da mesma ordem de grandeza dos volumes transportados, dado o tipo de modelagem proposta, porque o modelo analisa o planejamento de serviços do ponto de vista da empresa. Considerando que as rodovias atendem a um conjunto grande de transportadoras e também a outros tipos de veículo, é muito pouco provável que a restrição de capacidade nos arcos seja ativa nos cenários estudados. O mesmo raciocínio vale para os transportes marítimo e fluvial. Por esse motivo, não

a) A rede física

Além dos elementos citados na seção anterior, outros quatro completam a descrição do escopo da modelagem: a rede física de transportes, os ativos disponíveis, as rotas de trens e navios e a demanda de transportes.

3.2 OS ELEMENTOS DA MODELAGEM

A modelagem será apresentada, a seguir, na sua forma genérica e, posteriormente, adaptada a um estudo de caso específico.

A incorporação de transporte de terceiros aos grupos de serviço torna a modelagem bastante abrangente. Em muitos casos, uma empresa de transporte intermodal possui poucos ativos e subcontrata os serviços de outras empresas para atender aos seus clientes. Por exemplo, existem empresas que possuem apenas vagões e contratam as ferrovias para transportar esses vagões com suas locomotivas. Nesse caso, somente haveria equações de balanço de massa para os vagões. As locomotivas não entrariam nesse tipo de equação, pois não pertencem à empresa, e a capacidade de transporte no arco seria o limite de espaço que a ferrovia oferece para essa empresa. Na função objetivo não haveria custos fixos de locomotivas e a contratação do transporte ferroviário entraria no custo variável do grupo de serviço.

serão construídas restrições de capacidade nos arcos para esses tipos de transporte. Os nós são os pontos possíveis de mudança de serviço e podem ser da seguinte natureza:

✓ *Portos*: Pontos de conexão entre o serviço rodoviário/ferroviário e o marítimo/fluvial (no caso de portos fluviais).

✓ *Terminais rodoviários (Hubs)*: Permitem operações de engate e desengate de carretas e serviços de contratação de terceiros. Neste último caso, o transporte pode ser realizado, porém sem a utilização de ativos.

✓ *Unidades de Serviço Rodoviárias (USS)*: Pontos de apoio rodoviários. Permitem a contratação de terceiros.

✓ *Terminais Intermodais Rodoferroviários*: Permitem o transbordo de carga de caminhões para vagões, por meio de estruturas especiais, como os pórticos para contêineres e moegas para grãos.

✓ *Plátos Ferroviários*: Pontos de formação e recebimento de trens, carregamento e descarregamento de vagões. Permitem a conexão de trens, ou seja, a transferência da carga de um trem cujo percurso se encerra ali para outro que se forma nesse ponto. Isso não deixa de ser uma mudança de serviço, que será melhor definida em seguida.

b) Equipamentos disponíveis

Os equipamentos disponíveis são os veículos para o transporte das cargas, equipamentos para acondicionamento de cargas e os equipamentos de transbordo em terminais intermodais. Os veículos são caminhões, vagões, locomotivas e navios, basicamente. Os equipamentos para acondicionamento de carga são os contêineres e as carretas bimodais. Os equipamentos de transbordo são pontes rolantes, pórticos para movimentação de contêineres, empilhadeiras, etc.

c) Os serviços regulares de trens e navios

Os serviços regulares de trens e navios possuem um trajeto regular com frequência definida e com os tipos definidos de navio ou locomotiva, possuindo um roteiro ou itinerário. Esse é um elemento diferente do de grupos de serviço, já que esses irão utilizar os navios e trens. Um grupo de serviço pode utilizar um serviço regular de navio n com um tipo de bimodal m em um determinado arco, ou seja, são elementos distintos. Na modelagem, serão considerados vários possíveis serviços regulares de trens e navios, para que o modelo possa decidir quais são interessantes de serem realmente oferecidos.

Os itinerários ou roteiros desses serviços são compostos pela sequência de nós pelos quais os trens ou navios passam em seus trajetos. Dentro desses itinerários ou roteiros, existem os sub-roteiros, que são arcos com características operacionais homogêneas. Esse conceito é semelhante ao apresentado na revisão bibliográfica a respeito de serviços e sub-rotas dos serviços.

Essa especificação é importante do ponto de vista da modelagem matemática do problema, pois torna-se possível diferenciar as capacidades dos trens e navios por sub-rotas ao longo do seu trajeto (rota). Esse caso é clássico no transporte ferroviário, no qual, durante o trajeto dos trens, pode haver grandes mudanças na geometria da via permanente, o que reduz ou aumenta consideravelmente a capacidade de tração dos trens. No transporte fluvial, também as velocidades são afetadas de acordo com a declividade do rio.

d) Demanda de transporte

Uma demanda de transporte é definida como uma quantidade de uma determinada mercadoria a ser transportada, num dado horizonte de tempo, de uma origem para um destino dentro da rede determinada. A figura 3.1 mostra, esquematicamente, o inter-relacionamento desses quatro elementos da modelagem.

da tabela 3.1.

O cadastro da malha se inicia com a tabela de nós chamada TBL_NOS, conforme o modelo

3.3.1 CADASTRO DA MALHA

Os dados de entrada são basicamente dados relativos à rede física, aos equipamentos, às rotas de trens e navios e às demandas de transporte. Para melhor tratamento dos dados, anteriormente à geração de grupos de serviço e fluxos de vazios, será utilizada uma linguagem de banco de dados. As tabelas apresentadas como exemplos nesta e na próxima seção contêm algumas informações referentes ao estudo de caso que será apresentado no capítulo 4. A colocação de dados reais nesta etapa do trabalho ajudará explicar o significado dos parâmetros das tabelas, pela utilização de exemplos reais durante essas explicações.

3.3 O PROCESSO DE PREPARAÇÃO DOS DADOS

FIGURA 3.1 – Elementos da modelagem

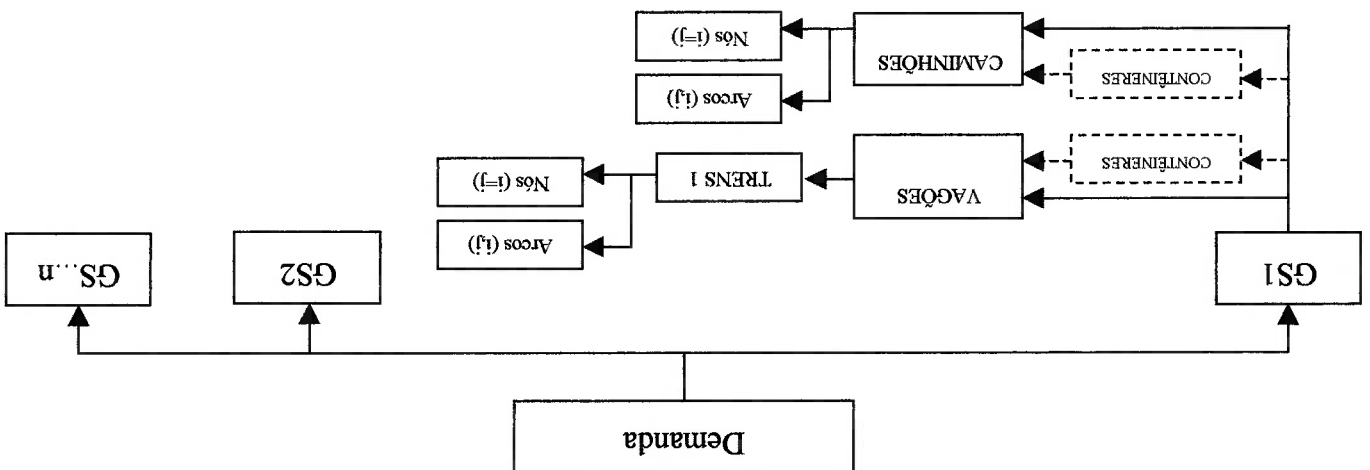


TABELA 3.1 – TBL_NOS: Cadastro de nós na malha

| NO | Nome | Hub | Us | Pátio | RF_Pórtico | RF_PonteRolante | RF_Estiva |
|----|--------------|-----|----|-------|------------|-----------------|-----------|
| 1 | Uberlândia | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | Campinas | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | São Paulo | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | Jacareí | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | ZTY | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 6 | ZZA | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | ZNW | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | LHA | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | CWB | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 10 | Curitiba | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | LRO | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | Joinville | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | POA | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 14 | Passo Fundo | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | Porto Alegre | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | Rio Grande | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | Bagé | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | NSM | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | NCY | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | NAL | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | NUG | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 22 | LUS | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | Campo Grande | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | Pouso Alegre | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

A primeira coluna indica o código do nó cadastrado; na segunda, aparece o nome ou o código da cidade em que se encontra. Normalmente, usam-se nomes de cidades para terminais rodoviários e siglas para estações ferroviárias. Da terceira coluna em diante, trata-se de identificar se o nó possui a funcionalidade referida no título da coluna. Por exemplo, o nó 21 (NUG) é, ao mesmo tempo, um pátio ferroviário, uma unidade de serviço rodoviária e possui as unidades de transbordo pórtico, ponte rolante e estiva.

O cadastro de distâncias é outra tabela de entrada de dados. O modelo segue como mostrado na tabela 3.2.

| NO_RODO | MOME_NO | NO_TERMINAL | NOME_NO_TERMINAL |
|---------|--------------|-------------|------------------|
| 1 | Uberlândia | 5 | ZTY |
| 2 | Campinas | 5 | ZTY |
| 3 | São Paulo | 5 | ZTY |
| 4 | Jacarei | 5 | ZTY |
| 10 | Cunitiba | 9 | CWB |
| 12 | Joinville | 9 | CWB |
| 14 | Passo Fundo | 13 | POA |
| 15 | Porto Alegre | 13 | POA |
| 16 | Rio Grande | 13 | POA |
| 17 | Bagé | 13 | POA |
| 13 | POA | 13 | POA |
| 5 | ZTY | 5 | ZTY |

ao no referido

TABELA 3.3 – TBL_TERMINAIS_RODOFERRO: Cadastro do terminal intermodal que atende

Outra tabela de entrada de dados da malha física é a tabela que relaciona cada nó a um terminal intermodal. Normalmente, um nó possui apenas um terminal intermodal associado. Essa tabela permitirá, mais adiante, associar demandas de transporte a roteiros intermodais (rodoviário ou rodomarítimo). O modelo encontra-se na tabela 3.3.

| ORIGEM | DESTINO | DISTÂNCIA |
|--------|---------|-----------|
| LHA | CWB | 371,3 |
| LHA | LHA | 0 |
| LHA | LRO | 376,4 |
| LHA | LUS | 235,3 |
| LHA | NAL | 1667,1 |
| LHA | NCY | 1517,1 |
| LHA | POA | 1087,1 |
| LHA | NSM | 1394,5 |
| LHA | NUG | 1767,1 |
| LHA | ZTY | 626,3 |
| LHA | ZNW | 426,3 |
| LHA | ZZA | 626,3 |
| CWB | LHA | 371,3 |
| CWB | LHA | 0 |
| CWB | LRO | 117,7 |

TABELA 3.2 – TBL_DISTANCIAS: Tabela de cadastro de distâncias entre nós

Por fim, cadastram-se as sub-rotas ferroviárias ou marítimas, de acordo com o padrão da tabela 3.4. Essas sub-rotas são o conjunto de arcos que possuem características homogêneas de circulação, conforme descrito anteriormente. Na tabela 3.4, o exemplo de cadastro apresentado refere-se a um caso de sub-rotas ferroviárias. A primeira coluna indica o código da sub-rota; a quarta coluna cadastra o número máximo de trens que podem circular naquela sub-rota e a última coluna indica o comprimento máximo permitido para um trem nessa mesma sub-rota. Esses dados são importantes para as restrições de capacidade referenciadas na formulação.

TABELA 3.4 – TBL SUB-ROTAS FERRO: Índice de sub-rotas ferroviárias

| ROTEIRO | ORIGEM | DESTINO | N MAX TRENS | COMP_R |
|---------|--------|---------|-------------|--------|
| 1 | ZTY | ZNW | 2 | 35 |
| 2 | ZZA | ZNW | 2 | 35 |
| 3 | ZNW | LUS | 3 | 50 |
| 4 | LHA | LUS | 4 | 40 |
| 5 | LUS | CWB | 4 | 90 |
| 6 | CWB | LRO | 4 | 80 |
| 7 | LRO | POA | 5 | 55 |
| 8 | POA | NSM | 2 | 75 |
| 9 | NSM | NCY | 3 | 70 |
| 10 | NCY | NAL | 3 | 40 |
| 11 | NAL | NUG | 6 | 40 |
| 12 | NUG | NAL | 6 | 40 |
| 13 | NAL | NCY | 4 | 40 |
| 14 | NCY | NSM | 4 | 70 |
| 15 | NSM | POA | 4 | 75 |

3.3.2 CADASTRO DE EQUIPAMENTOS

Os ativos e equipamentos tais como caminhões, vagões, locomotivas, navios, unidades bimodais, etc., são cadastrados seguindo os seguintes modelos:

Caminhões

Os caminhões podem ser frota própria ou agregados. O cadastro segue o modelo da tabela 3.5. A tabela já especifica a frota disponível de cada tipo de caminhão (na coluna 3), bem como seus custos de ton.Km carregada e km vazio rodado.

TABELA 3.5 – TBL_CAMINHÕES: Cadastro dos tipos de caminhão e suas frotas

| Tipo de Caminhão | COD | Frota | Custo/Km Cg (R\$) | Custo/Km Vz (R\$) |
|------------------|-----|-------|-------------------|-------------------|
| A | 1 | 50 | xxx | zzz |
| B | 2 | 60 | yyy | www |

Vagões

Os vagões seguem o modelo da tabela 3.6. A primeira coluna indica o tipo de vagão cadastrado, seguido pelo seu código para leitura do modelo; a terceira coluna informa a quantidade disponível daquele tipo de vagão no sistema e a quarta, a tonelada útil máxima que um vagão daquele tipo pode transportar em uma viagem.

TABELA 3.6 – TBL_VAGÕES: Tabela de cadastro dos tipos de vagão

| Tipo de Vagão | COD | Frota | TU |
|---------------|-----|-------|----|
| A | 1 | 100 | 50 |
| B | 2 | 30 | 50 |

Locomotivas

De maneira análoga à tabela de vagões, são cadastrados os tipos de locomotivas disponíveis no sistema, de acordo com a tabela 3.7. A primeira coluna descreve o tipo de locomotiva seguido de seu código na modelagem e a quantidade disponível para transporte, na terceira coluna.

| | | | | | |
|--------------------------|-----|-------|--------------------|-------------------|-----|
| B | | 2 | 5 | 150 | Yyy |
| A | | 1 | 5 | 200 | Xxx |
| Modalidade de Transbordo | COD | LOCAL | CAPACIDADE (t/dia) | Custo/ton (R\$/t) | |

TABELA 3.9 – TBL_TRANSBORDO_RODOFERRO: Cadastro das unidades de transbordo

As unidades de transbordo são cadastradas informando-se a capacidade em t/dia e seu custo variável de operação. Deve-se informar também o local em que essas unidades estarão alocadas, pois podem possuir capacidades e custos diferentes. Por exemplo, um pátio operando numa estação A pode ser de maior porte do que outro na estação B, além de poder possuir custos operacionais diferentes. No entanto, no cadastro, ambos receberão o mesmo código na coluna 2, pois a modelagem admite que cada tipo trata-se apenas de um código. Assim, ter-se-ia “...tipo de transbordo 1 no pátio A e tipo de transbordo 1 no pátio B...” A tabela 3.9 mostra o modelo.

Unidades de transbordo intermodais

| | | | | | |
|---------------|-----|-------|------------------|-------|--|
| B | | 2 | 5 | 1.500 | |
| A | | 1 | 10 | 2.200 | |
| Tipo de Navio | COD | Frota | Capacidade (TEU) | | |

TABELA 3.8 – TBL_NAVIOS: Tabela de cadastro dos tipos de navio

Os tipos de navio são cadastrados informando-se também a frota disponível e sua capacidade em TEUs. A tabela 3.8 mostra o modelo de cadastro.

Navios

| | | | | |
|--------------------|-----|-------|----|--|
| G12 | | 4 | 6 | |
| U20C | | 3 | 6 | |
| G22UB | | 2 | 14 | |
| GT | | 1 | 10 | |
| Tipo de Locomotiva | COD | Frota | | |

TABELA 3.7 – TBL_LOCOMOTIVAS: Tabela de cadastro dos tipos de locomotiva

Com isso, finaliza-se o cadastro dos equipamentos. Será descrito, em seguida, o modelo de cadastro dos serviços de trens e navios.

3.3.3 CADASTRO DOS SERVIÇOS DE TRENS E NAVIOS

Através da associação da TBL_TERMINAIS_RODOFERRO, descrita na seção 3.4.1, torna-se possível determinar todas os possíveis pares de origens e destinos ferroviários da malha, por meio de associações no banco de dados. Em seguida, monta-se o roteiro ferroviário para cada par origem-destino ferroviário, numerando-se as sub-rotas por onde ele passa, conforme a tabela 3.10. Analisando os dados contidos nessa tabela, como exemplo, tem-se um roteiro ferroviário com origem em LUS e destino em ZTY passando apenas pelas sub-rotas 20 e 22, conforme registro na coluna 6 da tabela. As demais sub-rotas não pertencem ao roteiro desta origem-destino.

TABELA 3.10 - TBL_ROTARIOS_FERRO

| TBL NOS NO | TBL NOS Nome | TBL NOS 1 NO | TBL NOS 1 Nome | ID ROTARIO | ROTEIRO |
|------------|--------------|--------------|----------------|------------|---------|
| 22 | LUS | 5 | ZTY | 12 | 0 |
| 22 | LUS | 5 | ZTY | 13 | 0 |
| 22 | LUS | 5 | ZTY | 14 | 0 |
| 22 | LUS | 5 | ZTY | 15 | 0 |
| 22 | LUS | 5 | ZTY | 16 | 0 |
| 22 | LUS | 5 | ZTY | 1 | 0 |
| 22 | LUS | 5 | ZTY | 2 | 0 |
| 22 | LUS | 5 | ZTY | 3 | 0 |
| 22 | LUS | 5 | ZTY | 4 | 0 |
| 22 | LUS | 5 | ZTY | 5 | 0 |
| 22 | LUS | 5 | ZTY | 6 | 0 |
| 22 | LUS | 5 | ZTY | 7 | 0 |
| 22 | LUS | 5 | ZTY | 8 | 0 |
| 22 | LUS | 5 | ZTY | 9 | 0 |
| 22 | LUS | 5 | ZTY | 10 | 0 |
| 22 | LUS | 5 | ZTY | 11 | 0 |
| 22 | LUS | 5 | ZTY | 17 | 0 |
| 22 | LUS | 5 | ZTY | 18 | 0 |
| 22 | LUS | 5 | ZTY | 19 | 0 |
| 22 | LUS | 5 | ZTY | 20 | 1 |
| 22 | LUS | 5 | ZTY | 21 | 0 |
| 22 | LUS | 5 | ZTY | 22 | 1 |

3.3.4 CADASTRO DE DEMANDA

Por fim, cadastram-se as demandas de transporte em duas tabelas distintas: uma com características da demanda de transporte tais como volume, tarifa, origem e destino (TBL_DEMANDA) e outra informando a compatibilidade do tipo de mercadoria da demanda com os ativos cadastrados (TBL_DEMANDA_ATIVOS). Os modelos são mostrados nas tabelas 3.12 e 3.13. Na tabela 3.12, pode-se observar que são feitos cadastros referentes a dados de tempo de carga e descarga de cada um dos modais (rodoviário, ferroviário e marítimo) de cada demanda de transporte. Na modelagem, esses tempos entrarão nas parcelas de tempo de trânsito total de vagões e caminhões (vide formulação). É importante que esses tempos sejam dados pelas demandas e não pelo ativo, pois os tempos de carga e descarga incluem os tempos de espera em fila para descarga, o que depende muito mais do cliente do que do ativo propriamente dito. Acredita-se que essa aproximação é a mais apropriada. Já na tabela 3.13, os dados usados para exemplificar o cadastro buscam estabelecer parâmetros de compatibilidade entre as demandas com os tipos de vagão plataforma e plataforma com fuetro. As demandas 1, 2, 3, 5, 8, 9, 10, 13, 14 e 16 são todas compatíveis com o tipo de vagão plataforma e, por esse motivo, assumem valor 1 no parâmetro de compatibilidade (coluna 5). Esse cadastro deve prosseguir para todos os tipos de ativo.

TABELA 3.12 – TBL_DEMANDA: Cadastro de demanda

| COD | Origem | Destino | Mercadoria | Valor R\$ Ton | Volume | Dias Equiv | Tarifa |
|-----|--------------|-----------|----------------------|---------------|--------|------------|--------|
| 1 | Campinas | NUG | PAPÉL/CELULOSE | 2800 | 20 | 250 | 0 |
| 2 | Campinas | NUG | QUÍMICO/PETROQUÍMICO | 5250 | 1 | 300 | 0 |
| 3 | Campo Grande | NUG | QUÍMICO/PETROQUÍMICO | 5250 | 10 | 300 | 0 |
| 4 | CWB | POA | CLINQUER | 50 | 1520 | 300 | 0 |
| 5 | CWB | NUG | SIDERÚRGICO | 3450 | 102,4 | 300 | 0 |
| 6 | Jacarei | NUG | ROAD RAILLER | 3920 | 2 | 300 | 0 |
| 7 | Joinville | NUG | MADERA | 100 | 10 | 300 | 0 |
| 8 | LHA | Campinas | PAPÉL/CELULOSE | 2800 | 60 | 240 | 0 |
| 9 | LHA | LUS | PAPÉL/CELULOSE | 2800 | 260 | 300 | 0 |
| 10 | LHA | NUG | PAPÉL/CELULOSE | 2800 | 8 | 300 | 0 |
| 11 | NAL | São Paulo | ARROZ | 890 | 240 | 300 | 0 |

TABELA 3.12 – Continuação

| COD | T_Carga_Ferro | T_Desc_Ferro | T_Carga_Rodopontal | T_Desc_Rodopontal | T_Carga_Rodopontal2 |
|-----|---------------|--------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| 1 | 1 | 1 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| 2 | 1 | 1 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| 3 | 1 | 1 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| 4 | 1 | 1,5 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| 5 | 1 | 1 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| 6 | 1 | 1 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| 7 | 1 | 1 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| 8 | 1 | 1,5 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| 9 | 1 | 1 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| 10 | 1 | 1 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| 11 | 1 | 1,5 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |

TABELA 3.13 – TBL_DEMANDA_ATIVOS: Informa a compatibilidade entre a demanda e os

ativos cadastrados

| COD | Origem | Destino | Mercadoria | V_Plant | TU | V_Plant | V_Plant | Fuetro |
|-----|--------------|-----------|----------------------|---------|----|---------|---------|--------|
| 1 | Campinas | NUG | PAPÉL/CELULOSE | 1 | | 40 | | 0 |
| 2 | Campinas | NUG | QUÍMICO/PETROQUÍMICO | 1 | | 40 | | 0 |
| 3 | Campo Grande | NUG | QUÍMICO/PETROQUÍMICO | 1 | | 40 | | 0 |
| 4 | CWB | POA | CLINQUER | 0 | | 0 | | 0 |
| 5 | CWB | NUG | SIDERÚRGICO | 1 | | 55 | | 0 |
| 6 | Jacarei | NUG | ROAD RAILLER | 0 | | 0 | | 0 |
| 7 | Joinville | NUG | MADERA | 0 | | 0 | | 1 |
| 8 | LHA | Campinas | PAPÉL/CELULOSE | 1 | | 40 | | 0 |
| 9 | LHA | LUS | PAPÉL/CELULOSE | 1 | | 40 | | 0 |
| 10 | LHA | NUG | PAPÉL/CELULOSE | 1 | | 40 | | 0 |
| 11 | NAL | São Paulo | ARROZ | 0 | | 0 | | 0 |
| 12 | NCY | ZTY | ARROZ | 0 | | 0 | | 0 |
| 13 | NUG | Campinas | POLITILENO | 1 | | 30 | | 0 |
| 14 | NUG | Campinas | QUÍMICO/PETROQUÍMICO | 1 | | 40 | | 0 |
| 15 | NUG | Jacarei | ROAD RAILLER | 0 | | 0 | | 0 |
| 16 | NUG | POA | QUÍMICO/PETROQUÍMICO | 1 | | 40 | | 0 |

Com isso, finaliza-se o processo de entrada de dados. Todas as informações necessárias para formação dos grupos de serviço e fluxos de vazios já estão cadastradas. Em seguida, serão definidos esses processos.

3.4 O PROCESSO DE GERAÇÃO DOS GRUPOS DE SERVIÇO E DOS FLUXOS DE VAGÕES E BIMODAIS VAZIOS

Esses processos são o ponto central de toda a preparação de dados para resolução. Os grupos de serviço são conjuntos de atividades que se utilizam de ativos da malha para transportar uma demanda de transporte da sua origem para seu destino final. Cada grupo de serviço possuirá características únicas e, portanto, níveis de serviço diferentes. Um grupo de serviço atende a uma única demanda.

Já os fluxos de vagões vazios são combinações de trens que levam vagões de um ponto a outro dentro da malha ferroviária. Eles têm o objetivo único de movimentar unidades vazias para reposição nos seus pontos de carregamento. Para que nenhuma demanda fique sem opção de reposicionamento de vagios, o processo de geração busca todos os destinos ferroviários das demandas e cruza com todas as origens ferroviárias dessas mesmas demandas. Assim, todas as possíveis opções estão cobertas.

Por fim, os fluxos de bimodais vazios são o conjunto de movimentações de vagões e/ou caminhões vazios que podem transportar as unidades bimodais vazias também para reposicionamento.

3.4.1 GERAÇÃO DE GRUPOS DE SERVIÇO

Para a apresentação desse processo, será tomado como exemplo a geração apenas de grupos de serviço rodoviários e rodoferrviários. Através da TBL_TERMINAIS_RODOFERRO, é possível associar uma origem e um destino ferroviário para cada demanda de transporte. Como já foram criados roteiros ferroviários para cada um desses pares origem-destino, basta fazer a associação desses roteiros com a tabela de trens. Com isso, já se obtêm os roteiros ferroviários de cada demanda e as possíveis combinações de trens que podem transportá-la na etapa ferroviária, conforme a tabela 3.14. Nessa tabela, a demanda de código 5 possui origem ferroviária no nó 9, ou seja, caso essa demanda venha a ser transportada por um grupo de serviço rodoferrviário, ela

passará pelo nó 9 como sendo um dos pontos de transbordo rodoferrviário. Desse ponto, essa demanda será transportada via ferrovia até um outro terminal de destino rodoferrviário para, novamente, ser transportada para um caminho que fará seu transporte até o destino final da demanda. Portanto, essa demanda possui um roteiro rodoferrviário associado, composto por um conjunto de sub-rotas. No caso acima, o roteiro passa pelas sub-rotas 6, 7, 8, 9, 10 e 11, sendo representadas, respectivamente, por R1, R2, R3, R4, R5, e R6. Em cada sub-rotas rodoferrviária, é possível utilizar diferentes trens, desde que esses trens possuam também a respectiva sub-rotas no seu itinerário. Por exemplo, o trem de código 11 passa pela sub-rotas de código 8 e, por esse motivo, esse trem pode fazer parte do transporte dessa demanda. E de se esperar, portanto, que, para cada demanda, existam várias combinações possíveis de trens que podem transportá-la no seu trajeto rodoferrviário. Essa construção é a primeira etapa para formação de um grupo de serviço rodoferrviário.

TABELA 3.14 – Código das sub-rotas rodoferrviárias por onde a demanda passa e os trens que estão

| Cód_Dem | Gr_Serv | Ori_Ferro | v | m | R1 | T | R2 | T | R3 | T | R4 | T | R5 | T | R6 | T |
|---------|---------|-----------|---|---|----|---|----|---|----|---|----|----|----|----|----|----|
| 5 | 84 | 9 | 1 | 6 | 6 | 7 | 7 | 8 | 11 | 9 | 12 | 10 | 12 | 11 | 12 | 12 |
| 5 | 85 | 9 | 1 | 6 | 5 | 7 | 7 | 8 | 11 | 9 | 12 | 10 | 12 | 11 | 12 | 12 |
| 5 | 86 | 9 | 1 | 6 | 9 | 7 | 9 | 8 | 11 | 9 | 12 | 10 | 12 | 11 | 12 | 12 |
| 5 | 87 | 9 | 1 | 6 | 6 | 7 | 7 | 8 | 10 | 9 | 10 | 10 | 13 | 11 | 13 | 13 |
| 5 | 88 | 9 | 1 | 6 | 5 | 7 | 7 | 8 | 10 | 9 | 10 | 10 | 13 | 11 | 13 | 13 |
| 5 | 89 | 9 | 1 | 6 | 9 | 7 | 9 | 8 | 10 | 9 | 10 | 10 | 13 | 11 | 13 | 13 |
| 5 | 90 | 9 | 1 | 6 | 14 | 7 | 14 | 8 | 14 | 9 | 14 | 10 | 14 | 11 | 14 | 14 |
| 5 | 91 | 9 | 1 | 6 | 15 | 7 | 15 | 8 | 15 | 9 | 15 | 10 | 15 | 11 | 15 | 15 |

transportando

Com base nos dados de demanda, gera-se, em seguida, um quadro de compatibilidade de ativos para cada demanda de transporte, conforme a tabela 3.15. Os quadros dessa tabela indicam quais tipos de ativos podem transportar uma dada demanda em alguma etapa do grupo de serviço. Assim sendo, tem-se no exemplo acima citada, uma demanda que pode ser transportada por vagões tipo plataforma e caminhões tipo plataforma ou granelêiro, pois a coluna das tabelas que indicam a condição de uso (terceira coluna) possui status "OK".

TABELA 3.15 – Quadro de compatibilização de ativos

| Cod | Uso | TU | 1 OK | 2 - | 3 - | 4 - | 5 - |
|----------------------|-----|----|------|-----|-----|-----|-----|
| Vagões | | | 1 OK | 55 | | | |
| Plataforma | | | 1 OK | 55 | | | |
| Plataforma Fuelleiro | | | 2 - | | | | |
| Gôndolas | | | 3 - | | | | |
| Road Rallier | | | 4 - | | | | |
| Fechado | | | 5 - | | | | |

| Cod | Uso | 1 OK | 2 OK | 3 - | 4 - |
|--------------------|-----|------|------|-----|-----|
| Frota Própria | | 1 OK | 2 OK | 3 - | 4 - |
| Plataforma | | 1 OK | 2 OK | 3 - | 4 - |
| Ganeleiro | | 2 OK | | | |
| Sider | | 3 - | | | |
| Truck Road Rallier | | 4 - | | | |

| Cod | Uso | 1 OK | 2 OK | 3 - |
|----------------|-----|------|------|-----|
| Frota Agregada | | 1 OK | 2 OK | 3 - |
| Plataforma | | 1 OK | 2 OK | 3 - |
| Ganeleiro | | 2 OK | | |
| Sider | | 3 - | | |

| Cod | Uso | 1 OK | 2 OK | 3 - |
|----------------------|-----|------|------|-----|
| Bimodais | | 1 OK | 2 OK | 3 - |
| Contêiner 20' | | 1 OK | | |
| Contêiner 40' | | 2 OK | | |
| Carreta Road Rallier | | 3 - | | |

| Cod | Uso | 1 OK | 2 OK | 3 - | 4 - |
|----------------------|-----|------|------|-----|-----|
| Transbordo Rodoferro | | 1 OK | 2 OK | 3 - | 4 - |
| Pórtico | | 1 OK | | | |
| Ponte Rolante | | 2 OK | | | |
| Estivado | | 3 - | | | |
| Road Rallier | | 4 - | | | |

Com essas informações, completa-se o quadro de grupos de serviços com as modalidades de transbordo, caminhões para ponta rodoviária, unidades bimodais (quando houver), entre outras informações necessárias para garantir a consistência dos grupos de serviço. A tabela 3.16 mostra um modelo final de grupos de serviço para atendimento a uma demanda. Nessa tabela, os grupos de serviço 78, 79 e 80 são todos de transporte rodoviário, porém cada qual com uma

combinação de trens diferente. Como o destino da demanda coincide com o destino ferroviário, não há necessidade de ponta rodoviária no destino. Por esse motivo, as colunas p, a, tr e m (representando, respectivamente, tipo de caminhada da frota própria, de agregados, de terceiros ou de bimodal), situadas após a coluna de destino ferroviário, estão vazias. A análise é análoga para a ponta rodoviária na origem. Quando não há roteiro ferroviário, indica-se que o grupo de serviço é rodoviário direto, caso que ocorre para os grupos de serviço 81, 82 e 83. Nessa situação, o primeiro grupo de colunas p, a, tr e m indica a utilização dos ativos. Por exemplo, o grupo de serviço 81 transporta a demanda 4 direto ao seu destino final com caminhada frota própria do tipo 2.

TABELA 3.16 – Formação completa de grupos de serviço

| Cod_Dem | Gr_Serv | Merc | Ort | p | a | tr | m | RF | Ort_Ferro | v | m | R1 | T | R2 | T | Dst_Ferro | RF | P | a | tr | m | Dst | |
|---------|---------|----------|-----|---|---|----|---|----|-----------|---|---|----|---|----|----|-----------|----|---|---|----|---|-----|----|
| 4 | 78 | CLINQUER | 9 | | | | | | 9 | 3 | 6 | 5 | 7 | 7 | 13 | | | | | | | | 13 |
| 4 | 79 | CLINQUER | 9 | | | | | | 9 | 3 | 6 | 6 | 7 | 7 | 13 | | | | | | | | 13 |
| 4 | 80 | CLINQUER | 9 | | | | | | 9 | 3 | 6 | 9 | 7 | 9 | 13 | | | | | | | | 13 |
| 4 | 81 | CLINQUER | 9 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 13 |
| 4 | 82 | CLINQUER | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 13 |
| 4 | 83 | CLINQUER | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 13 |

3.4.2 GERAÇÃO DE FLUXO DE VAGÕES VAZIOS

De maneira análoga à geração de roteiros ferroviários para as demandas, todos os destinos ferroviários das demandas são adotados como origens dos fluxos de vagões e todas as origens ferroviárias das demandas como destinos dos fluxos de vagões e geram-se os roteiros ferroviários para esses fluxos. Com associação à tabela de trens, obtêm-se os fluxos de vagões vazios conforme a tabela 3.17.

TABELA 3.17 – Exemplo de fluxo de vagões vazios

| Fvaz | Ort | Dst | R1 | T | R2 | T | R3 | T |
|------|-----|-----|----|---|----|---|----|---|
| 7 | 5 | 8 | 1 | 1 | 3 | 1 | 19 | 4 |
| 8 | 5 | 8 | 1 | 2 | 3 | 2 | 19 | 4 |

3.4.3 GERAÇÃO DE FLUXO DE BIMODAIS VAZIOS

A geração dos fluxos de bimodais vazios segue quatro etapas distintas: os fluxos de bimodais por meio de caminhões vazios da frota própria, por meio de caminhões vazios agregados, por meio de contratação de terceiros para o transporte ou com vagões vazios compatíveis como o bimodal. Nos três primeiros casos, basta que se admitam todos os destinos das demandas como origens de fluxo de bimodais vazios e todas as pares origem-destino possuem um arco rodoviário. Já para os casos de fluxos de bimodais rodoferroviários, é preciso incorporar as pontas rodoviárias aos fluxos de vagões vazios, promovendo um fluxo de bimodais intermodal. A tabela 3.18 mostra um exemplo deste tipo.

TABELA 3.18 – Exemplo do fluxo de bimodais vazios rodoferroviários

| COD | ORI_RODO | ORI_FERRO | DST_FERRO | DST_RODO | TTRodo | F vagões vazios |
|-----|----------|-----------|-----------|----------|--------|-----------------|
| 341 | 2 | 5 | 21 | 21 | 0,1 | 61 |
| 342 | 2 | 5 | 21 | 21 | 0,1 | 62 |
| 343 | 2 | 5 | 21 | 21 | 0,1 | 63 |
| 344 | 2 | 5 | 21 | 21 | 0,1 | 64 |
| 345 | 2 | 5 | 21 | 21 | 0,1 | 65 |
| 346 | 2 | 5 | 21 | 21 | 0,1 | 66 |
| 347 | 2 | 5 | 21 | 21 | 0,1 | 67 |
| 348 | 2 | 5 | 21 | 21 | 0,1 | 68 |
| 349 | 2 | 5 | 21 | 21 | 0,1 | 69 |
| 350 | 2 | 5 | 21 | 21 | 0,1 | 70 |

A seguir, será apresentada a formulação do modelo matemático para a resolução do problema.

3.5 A FORMULAÇÃO MATEMÁTICA PROPOSTA

Considere uma rede física, constituída por nós (i ou $j \in I$) e arcos $(i,j) \in W$, em que há um conjunto de grupos de serviço $g \in G$ que devem atender a demandas de transporte $d \in D$; haverá, em consequência, fluxos de vagões vazios $f \in F$, que transportam vagões do tipo $v \in V$ e fluxo de

bimodais vazios $b \in B$, que transportam unidades bimodais do tipo $m \in M$. Nos grupos de serviço, o transporte rodoviário pode ser realizado com caminhões frota própria do tipo $p \in P$ e caminhões agregados do tipo $a \in A$. No transporte ferroviário, um serviço regular de trem $t \in T$ (que será denominado no restante do texto apenas como “trem”) pode ser formado com locomotivas do tipo $l \in L$ e passar pelos sub-rotéis ferroviários $r \in R$. No transporte marítimo, um serviço regular de navios $n \in N$ (que será denominado no restante do texto apenas como “navio”) pode se utilizar de embarcações do tipo $e \in E$ e passar pelos sub-rotéis marítimos $s \in S$. Os nós i podem ser intermodais rodoferrviários e possuir equipamentos necessários para a modalidade de transporte do tipo $RF \in RFr$, intermodais rodomarítimos e possuir equipamentos necessários para a modalidade de transporte $RM \in RMm$, pátios ferroviários exclusivamente, terminais rodoviários ou unidades de serviço rodoviárias.

Nessa modelagem, os parâmetros serão usados como dia típico de operação. Assim sendo, as demandas d_i medidas em toneladas, possuirão valores referentes a um dia típico. Porém, na função objetivo, será calculado o lucro anual. Por esse motivo, existirá um parâmetro de multiplicação sobre a demanda atendida chamado *dias equivalentes* (Deq , na modelagem). Esse parâmetro indica em quantos dias do ano aquela demanda deverá ser transportada pelo sistema de transportes, buscando incorporar efeitos de finais de semana em que nem todos os clientes possuem operações de expedição. Com respeito aos custos fixos, estão incorporados apenas custos de manutenção e mão-de-obra dos sistemas, sem a incorporação de custos de arrendamento e depreciação. Os custos de manutenção são considerados fixos no caso de locomotivas e unidades de transporte, diferentemente do caso dos caminhões, em que a parcela de manutenção é incorporada na variável. Em outras palavras, o custo fixo adotado nessa modelagem não visa à venda de unidades não utilizadas ou à suspensão de contratos de *leasing*. Trata-se apenas de custos fixos operacionais.

Com as definições dos índices acima, a modelagem fica da seguinte maneira:

- a) Variáveis de decisão:
- ✓ x_{dg} – quantidade da demanda de transporte d atendida pelo grupo de serviço g (em toneladas);
 - ✓ T_t – variável binária que estabelece valor 1, se o trem t é selecionado para prestar serviço, e zero, em caso contrário;
 - ✓ N_n – variável binária que estabelece valor 1, se o navio n é selecionado para prestar serviço, e zero, em caso contrário;
 - ✓ Y_i – variável binária que estabelece valor 1, se o nó i permanecer aberto, e zero, em caso contrário;
 - ✓ RF_{RF_i} – variável binária que estabelece valor 1, se o tipo de transbordo rodo-ferroviário RF no nó i permanecer funcionando, e zero, em caso contrário;
 - ✓ RF_{RF_i} – variável binária que estabelece valor 1, se o tipo de transbordo rodo-marítimo RF no nó i permanecer funcionando, e zero, em caso contrário;
 - ✓ V_{fv} – número de vagões vazios do tipo v movimentados pelo fluxo de vazios f_j para P_{pj} – número de caminhões vazios da frota própria, do tipo p , movimentados de i para j ;
 - ✓ A_{aj} – número de caminhões vazios da frota de agregados, do tipo a , movimentados de i para j ;
 - ✓ TR_{fj} – número de caminhões vazios da frota de terceiros, movimentados de i para j (apenas para movimentação de unidades bimodais vazias);
 - ✓ M_{bm} – número de unidades bimodais vazias do tipo m , movimentadas pelo fluxo de bimodais vazios b_j ;
 - ✓ VG_v – número de vagões do tipo v a serem adquiridos;
 - ✓ PR_p – número de caminhões do tipo p a serem adquiridos para a frota própria;
 - ✓ AG_a – número de caminhões do tipo a a serem adquiridos para a frota de agregados;
 - ✓ MD_m – número de unidades bimodais do tipo m a serem adquiridas;
 - ✓ L_l – número de locomotivas do tipo l a serem adquiridas.

b) Parâmetros do problema – função objetivo:

- ✓ R_d : tarifa-base de transporte da demanda d (R\$);
- ✓ Deq_d : número de dias equivalentes do ano da demanda d ;
- ✓ NL_{it} : número de locomotivas do tipo l necessárias para formação do trem t ;
- ✓ CFL_l : custo fixo anual de manutenção do tipo de locomotiva l (R\$);
- ✓ CV_{fg} : custo variável do transporte da demanda d pelo grupo de serviço g (R\$/ t);
- ✓ CFN_n : custo fixo anual de operação do navio n (R\$);
- ✓ CFL_i : custo fixo anual para se manter aberto o nó i (R\$);
- ✓ CVV_{fv} : custo variável de transporte de unidades vazias do tipo de vagão v pelo fluxo de vazios f (R\$/viagem);
- ✓ CVP_{pj} : custo variável de transporte de unidades vazias de caminhões, do tipo p , da frota própria de i para j (R\$/viagem);
- ✓ CVA_{aj} : custo variável de transporte de unidades vazias de caminhões, do tipo a , da frota de agregados de i para j (R\$/viagem);
- ✓ CVT_{ij} : custo variável de uma viagem de i para j com caminhões de terceiros (R\$/viagem);
- ✓ $CFRFR_{RFi}$: custo fixo anual de operação do transbordo rodoviário de tipo RF no nó i ;
- ✓ $CFRMR_{RMi}$: custo fixo anual de operação do transbordo rodoviário de tipo RM no nó i ;
- ✓ CE_{dg} : custo de estoque da demanda gerado para a demanda d quando utilizando o grupo de serviço g (R\$/ t);
- ✓ CL_l : custo de aquisição de uma locomotiva do tipo l (R\$);
- ✓ CVG_v : custo de aquisição de um vagão do tipo v (R\$);
- ✓ CPR_p : custo de aquisição de caminhões frota própria do tipo p (R\$);
- ✓ CAG_a : custo de aquisição de caminhões agregados do tipo a (R\$);
- ✓ CMD_m : custo de aquisição de unidades bimodais do tipo m (R\$);
- ✓ T_{xan} : custo de oportunidade do capital anual, representando o fator multiplicador da parcela de investimento paga no primeiro ano para um horizonte de pagamento dos empréstimos de 5 anos (%).

c) Parâmetros do problema – restrição de balanço de massa para os vagões:

- ✓ δO_{gv} : parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o grupo de serviço g tem origem ferroviária no nó i com utilização do tipo de vagão v , e zero, em caso contrário;
- ✓ TUV_{dgv} : tonelada útil a ser transportada pelo vagão, de tipo v , para atendimento à demanda d no grupo de serviço g (1);
- ✓ δD_{gv} : parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o grupo de serviço g possui destino ferroviário no nó i com utilização do tipo de vagão v , e zero, em caso contrário;
- ✓ $e O_{vt}$: parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o fluxo de vagões vazios f possui origem no nó i , e zero, em caso contrário;
- ✓ $e D_{vt}$: parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o fluxo de vagões vazios f possui destino no nó i , e zero, em caso contrário.

d) Parâmetros do problema – restrição de balanço de massa para os caminhões frota própria:

- ✓ ϕO_{gp} : parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o grupo de serviço g possui origem rodoviária no nó i com utilização do tipo de caminhão frota própria p , e zero, em caso contrário;
- ✓ TUP_p : tonelada útil a ser transportada pelo tipo de caminhão frota própria p (1);
- ✓ ϕD_{gp} : parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o grupo de serviço g possui destino rodoviário no nó i com utilização do tipo de caminhão frota própria p , e zero, em caso contrário.

e) Parâmetros do problema – restrição de viagens vazias de caminhões apenas em trechos rodoviários:

- ✓ CAP_{ij} : capacidade física de movimentação de caminhões no arco (i,j) (t/dia);
- ✓ $\delta_{rodo ij}$: parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o arco ij é rodoviário, e zero, em caso contrário.

- f) Parâmetros do problema – restrição de balanço de massa para caminhos agregados:
- ✓ ϕ_{Ogat} : parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o grupo de serviço g possui origem rodoviária no nó i com utilização do tipo de caminho agregado a, e zero, em caso contrário;
 - ✓ TUA_a : tonelada útil a ser transportada pelo tipo de caminho agregado a (t);
 - ✓ ϕ_{Dgat} : parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o grupo de serviço g possui destino rodoviário no nó i com utilização do tipo de caminho agregado a, e zero, em caso contrário.
- g) Parâmetros do problema – restrição de balanço de massa para unidades bimodais:
- ✓ ϕ_{Ogmt} : parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o grupo de serviço g possui origem bimodal no nó i com utilização do tipo de bimodal m, e zero, em caso contrário;
 - ✓ TUM_m : tonelada útil a ser transportada pela unidade bimodal tipo m (t);
 - ✓ ϕ_{Dgmt} : parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o grupo de serviço g possui origem bimodal no nó i com utilização do tipo de bimodal m, e zero, em caso contrário;
 - ✓ η_{Opi} : parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o fluxo de bimodais vazios possui origem no nó i, e zero, em caso contrário;
 - ✓ η_{Dpi} : parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o fluxo de bimodais vazios possui destino no nó i, e zero, em caso contrário.
- h) Parâmetros do problema – restrição de movimentação de unidades bimodais vazias via vagão:
- ✓ δ_{mv} : parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se a unidade bimodal m pode ser transportada pelo tipo de vagão v, e zero, em caso contrário;
 - ✓ δ_{bv} : parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o fluxo de bimodais b contém o fluxo de vagões vazios f, e zero, em caso contrário.

i) Parâmetros do problema – restrição de movimentação de unidades bimodais vazias via caminhão frota própria:

✓ δ_{mp} : parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se a unidade bimodal do tipo m pode ser movimentada pelo tipo de caminhão frota própria p, e zero, em caso contrário;

✓ δ_{bpj} : parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o fluxo de vazios bimodal b passa pelo arco (i,j) utilizando o tipo de caminhão frota própria p, e zero, em caso contrário.

j) Parâmetros do problema – restrição de movimentação de unidades bimodais vazias via caminhão agregado:

✓ δ_{ma} : parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se a unidade bimodal do tipo m pode ser movimentada pelo tipo de caminhão agregado a, e zero, em caso contrário;

✓ δ_{baj} : parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o fluxo de vazios bimodal b passa pelo arco (i,j) utilizando o tipo de caminhão agregado a, e zero, em caso contrário.

k) Parâmetros do problema – restrição de movimentação de unidades bimodais vazias via caminhão terceiros:

✓ δ_{bj} : parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o fluxo de vazios bimodal b passa pelo arco ij utilizando caminhão de terceiros, e zero, em caso contrário.

l) Demanda de transporte:

✓ D_d : Demanda transporte d em toneladas.

- m) Frota de vagões:
- ✓ TTF_{gv} : tempo de trânsito ferroviário do grupo de serviço g utilizando o tipo de vagão v
 - (dias);
 - ✓ $TTFV_f$: tempo de trânsito ferroviário vazio utilizando o fluxo de vazios f (dias);
 - ✓ FV_v : frota disponível de vagões do tipo de vagão v (dias).
- n) Frota Própria de caminhões:
- ✓ TTR_{gp} : tempo de trânsito rodoviário do grupo de serviço g utilizando o tipo de caminhão p da frota própria (dias);
 - ✓ $TTRV_{ifj}$: tempo de trânsito rodoviário vazio de i para j (dias);
 - ✓ FP_p : número de caminhões do tipo p da frota própria.
- o) Frota Agregada de caminhões:
- ✓ TTR_{ga} : tempo de trânsito rodoviário do grupo de serviço g utilizando tipo de caminhão agregado a (dias);
 - ✓ $TTRV_{ifj}$: tempo de trânsito rodoviário vazio de i para j (dias);
 - ✓ FA_a : número de caminhões do tipo a da frota de agregados.
- p) Frota de unidades bimodais:
- ✓ TTM_{gm} : tempo de trânsito bimodal do grupo de serviço g utilizando o tipo de bimodal m (dias);
 - ✓ $TTMV_b$: tempo de trânsito bimodal vazio para o fluxo de bimodais vazios b (dias);
 - ✓ FM_m : número de unidades bimodais do tipo m na frota.

- q) Capacidade dos trens:
- ✓ δ_{gvt} : parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o grupo de serviço g utiliza o trem t na sub-rotas r com o tipo de vagão v, e zero, em caso contrário;
 - ✓ TBV_t: valor da tara do vagão de tipo v (t);
 - ✓ δ_{ht} : parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o fluxo de vazios f utiliza o trem t na sub-rotas r com o tipo de vagão v, e zero, em caso contrário;
 - ✓ CAP_t: capacidade do trem t na sub-rotas r (t/dia).
- r) Compromimento dos trens:
- ✓ δ_{gvt} : parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o grupo de serviço g utiliza o trem t na sub-rotas r com o tipo de vagão v, e zero, em caso contrário;
 - ✓ δ_{ht} : parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o fluxo de vazios f utiliza o trem t na sub-rotas r, e zero, em caso contrário;
 - ✓ COMP_t: comprimento máximo permitido para trem t na sub-rotas r (número de vagões).
- s) Capacidade dos navios em peso:
- ✓ δ_{gsmn} : parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o grupo de serviço g utiliza o navio n na sub-rotas s com o tipo de bimodal m, e zero, em caso contrário;
 - ✓ δ_{bsmn} : parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o fluxo de bimodais vazios b utiliza o navio n na sub-rotas s com o tipo de bimodal m, e zero, em caso contrário;
 - ✓ TBM_m: tara do bimodal de tipo m (t);
 - ✓ CAPNT_n: capacidade do navio n, em toneladas (t).
- t) Capacidade dos navios em volume:
- ✓ CAPN_n: capacidade, em volume, do navio n (TEU).

- u) Frota de locomotivas:
- ✓ NL_t: número de locomotivas do tipo l utilizadas para formação do trem t;
 - ✓ FL_t: número disponível de locomotivas do tipo l.
- v) Número máximo de trens no trecho:
- ✓ δ_t: parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o trem t passa pela sub-rotas r, e zero, em caso contrário;
 - ✓ NT_r: número máximo de trens que podem circular na sub-rotas r.
- w) Frota de embarcações:
- ✓ NE_n: número de embarcações utilizadas para formação do navio n;
 - ✓ δ_{ne}: parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se a rota de navio n utiliza o tipo de embarcação e, e zero, em caso contrário;
 - ✓ FL_e: número disponível de embarcações do tipo e.
- x) Capacidade das unidades de transbordo rodoferroviárias:
- ✓ δ_{grf}: parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o grupo de serviço g passa pelo nó i e utiliza a infra-estrutura de transbordo rodoferroviário do tipo RF, e zero, em caso contrário;
 - ✓ CAP_{irf}: capacidade de transbordo da infra-estrutura de transbordo rodoferroviário RF no nó i (t/dia).
- y) Capacidade das unidades de transbordo rodomarítimas:
- ✓ δ_{grm}: parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o grupo de serviço g passa pelo nó i e utiliza a infra-estrutura de transbordo rodomarítimo do tipo RM, e zero, em caso contrário;

✓ CAP^{IRM}: capacidade de transbordo da infra-estrutura RM no nó i (t/dia).

z) Capacidade dos pátios ferroviários:

✓ δ_{g_i}: parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o grupo de serviço g passa pelo nó i, e zero, em caso contrário;

✓ δF_i: parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o nó i é um pátio ferroviário, e zero, em caso contrário;

✓ CAP_i: capacidade de movimentação no pátio ferroviário (t/dia).

aa) Capacidade dos portos:

✓ δ_{g_i}: parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o grupo de serviço g passa pelo nó i, e zero, em caso contrário;

✓ δP_i: parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o nó i é um porto, e zero, em caso contrário;

✓ CAP_i: capacidade de movimentação no porto (t/dia).

bb) Capacidade dos hubs rodoviários:

✓ δ_{g_i}: parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o grupo de serviço g passa pelo nó i, e zero, em caso contrário;

✓ δH_i: parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o nó i é um hub rodoviário, e zero, em caso contrário;

✓ CAP_i: capacidade de movimentação no hub (t/dia).

cc) Capacidade das USs rodoviárias:

✓ δ_{g_i}: parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o grupo de serviço g passa pelo nó i, e zero, em caso contrário;

- ✓ δU_i : parâmetro binário de identificação que assume valor 1, se o nó i é uma US rodoviária, e zero, em caso contrário;
- ✓ CAP: capacidade de contratação na US (t/dia).

Uma vez definidas as variáveis de decisão e especificados os parâmetros do problema, o modelo matemático proposto é o seguinte:

$$\begin{aligned} \text{MAXIMIZAR: } & \sum_{(d,g)} \sum_{(a)} R_d * D_{eqd} * X_{dg} - \sum_{(i)} N_{LH} * CFL_i * T_i + \sum_{(n)} CFN_n * N_n - \sum_{(d,g)} CV_{dg} * D_{eqd} * \\ & X_{dg} + \sum_{(d,g)} CE_{dg} * D_{eqd} * X_{dg} \\ - & \sum_{(v,t)} \sum_{(a,t)} CVV_{tv} * 300 * V_{tv} + \sum_{(p,t)} \sum_{(a,t)} CVP_{pt} * 300 * P_{pt} + \sum_{(a,t)} CVA_{at} * 300 * A_{at} + \sum_{(i,t)} \\ & CVT_{it} * 300 * TER_{it} \\ - & \sum_{(RF,i)} \{ CFRF_{RFi} * RF_{RFi} \} - \sum_{(RM,i)} \{ CFRM_{RMi} * RM_{RMi} \} - \sum_{(i)} \{ CFL_i * Y_i \} \\ - & \sum_{(l)} \{ CL_l * L_l + \sum_{(v)} CVG_v * VG_v + \sum_{(p)} CPR_p * PR_p + \sum_{(a)} CAG_a * AG_a + \sum_{(m)} CMD_m * MD_m \} * (1 + TXan) \end{aligned}$$

Sujeito a:

$$1) \text{ Balanço de massa para os vagões} \\ \sum_{(d,g)} (X_{dg} * \delta O_{gai}) / TVV_{dgv} + \sum_{(t)} V_{tv} * \epsilon O_{ti} = \sum_{(d,g)} (X_{dg} * \delta D_{gvi}) / TVV_{dgv} + \sum_{(t)} V_{tv} * \epsilon D_{ti} \quad p / i, v$$

2) Balanço de massa para os caminhões frota própria

$$\sum_{(d,g)} (X_{dg} * \phi O_{gpi}) / TUP_p + \sum_{(i)} P_{pij} = \sum_{(d,g)} (X_{dg} * \phi D_{gpi}) / TUP_p + \sum_{(i)} P_{pii} \quad p / i, p$$

3) Viagens vazias de caminhões em arcos rodoviários

$$\sum_{(p)} P_{pij} + \sum_{(a)} A_{aij} \leq CAP_{ij} * \delta_{rodo \ ij} \quad p / i, j$$

4) Balanço de massa para os caminhões agregados

$$\sum_{(d,g)} (X_{dg} * \phi O_{gai}) / TUA_a + \sum_{(i)} A_{aij} = \sum_{(d,g)} (X_{dg} * \phi D_{gai}) / TUA_a + \sum_{(i)} A_{aji} \quad p / i, a$$

5) Balanço de massa para as unidades bimodais

$$\sum_{(d,g)} (X_{dg} * \phi O_{gmi}) / TUM_m + \sum_{(b)} M_{bmi} * \eta O_{bi} = \sum_{(d,g)} (X_{dg} * \phi D_{gmi}) / TUM_m + \sum_{(b)} M_{bmi} * \eta D_{bi} \quad p / i, m$$

- 6) Movimento de unidades bimodais vazias via vagão
 $\sum^{(b)} M_{bm} * \delta_{mv} * \delta_{br} \leq V_{fv}$
p/m, f_v
- 7) Movimento de unidades bimodais vazias via caminhão frota própria
 $\sum^{(b)} M_{bm} * \delta_{mp} * \delta_{pji} \leq P_{pji}$
p/i, j, p, m
- 8) Movimento de unidades bimodais vazias via caminhão agregado
 $\sum^{(b)} M_{bm} * \delta_{ma} * \delta_{baij} \leq A_{aij}$
p/i, j, a, m
- 9) Movimento de unidades bimodais vazias via caminhão de terceiros
 $\sum^{(b)} M_{bm} * \delta_{Tbij} \leq T_{Rbij}$
p/i, j, m
- 10) Atendimento não superior à demanda
 $\sum^{(g)} X_{dgg} \leq D_d$
- 11) Frota de vagões
 $\sum \sum^{(d, g)} (X_{dgv} * TTF_{gv}) / TV_{dgv} + \sum^{(f)} V_{fv} * TTF_{fv} \leq FV_v + VG_v$
p/v
- 12) Frota Própria de caminhões
 $\sum \sum^{(d, g)} (X_{dgp} * TTR_{gp}) / TUP_p + \sum \sum^{(ij)} P_{pji} * TTR_{vij} \leq FP_p + PR_p$
p/p
- 13) Frota Agregada de caminhões
 $\sum \sum^{(d, g)} (X_{dga} * TTR_{ga}) / TUA_a + \sum \sum^{(ij)} A_{aij} * TTR_{vij} \leq FA_a + AG_a$
p/a
- 14) Frota de unidades bimodais
 $\sum \sum^{(d, g)} (X_{dgm} * TTM_{gm}) / TUM_m + \sum^{(b)} M_{bm} * TTM_{vp} \leq FM_m + MD_m$
p/m
- 15) Capacidade dos trens
 $\sum \sum \sum^{(d, g, v)} (X_{dgv} * \delta_{gv} / TV_{dgv}) * (TU_v + TB_v) + \sum \sum^{(fv)} V_{fv} * \delta_{fv} * TB_v \leq CAP_{tr} * T_{tr}$
p/r, t

- 16) Comprimento dos trens

$$\sum \sum_{(d,g,v)} (x_{dg}^{dv} \delta_{gvt} / TV_{dg}^{dv}) + \sum_{(f,v)} V_{fv}^{fv} \delta_{fv} \leq COMP_n * T_n \quad p/r,t$$
- 17) Capacidade dos navios em toneladas

$$\sum \sum_{(d,g)} \{ (x_{dg}^{dg} \delta_{gsm}) + [(x_{dg}^{dg} \delta_{gsm}) / TUM_m] * TBM_m \} + \sum_{(b,m)} M_{bm}^{bm} \delta_{bsm} * TBM_m \leq CAPNT_n * N_n \quad p/r,n$$
- 18) Capacidade dos navios em TEU

$$\sum \sum_{(d,g)} (x_{dg}^{dg} \delta_{gsm} / TUM_m) + \sum_{(b,m)} M_{bm}^{bm} \delta_{bsm} \leq CAPN_n * N_n$$
- 19) Frota de locomotivas

$$\sum_{(t)} NL_t * T_t \leq FL_1 + L_1 \quad p/l$$
- 20) Número máximo de trens no trecho

$$\sum_{(t)} T_t * \delta_{tr} \leq NT_t \quad p/r$$
- 21) Frota de navios

$$\sum_{(n)} NE_n * N_n * \delta_{ne} \leq FL_e \quad p/e$$
- 22) Capacidade das unidades de transbordo rodoferrviárias

$$\sum \sum_{(d,g)} (x_{dg}^{dg} \delta_{grf}) \leq CAP_{RF} * RF_{RF} \quad p/i,RF$$
- 23) Capacidade das unidades de transbordo rodomarítimas

$$\sum \sum_{(d,g)} (x_{dg}^{dg} \delta_{grm}) \leq CAP_{RM} * RM_{RM} \quad p/i,RF$$
- 24) Capacidade dos patios ferroviários

$$\sum \sum_{(d,g)} (x_{dg}^{dg} \delta_{gf}) \leq CAPF * Y_f \quad p/i$$
- 25) Capacidade dos portos

$$\sum \sum_{(d,g)} (x_{dg}^{dg} \delta_{gp}) \leq CAPP * Y_p \quad p/i,p$$

$$CMA = I * \Sigma^{(i)} [1 / (1 + tx)^i]$$

Sendo:

$$Txan = CMA / (I/i)$$

foi usada a seguinte fórmula:

parcelas são relativas aos custos de aquisição de novos ativos. Para o cálculo da taxa anual (Txan) segunda parcelas dizem respeito ao custo fixo dos nós e unidades de transbordo. As demais são destinados ao atendimento das demandas de transporte. As décima, décima primeira e décima Trata-se de uma média dos dias equivalentes das demandas, uma vez que os deslocamentos vazios multiplica-se por 300, pois esse é o número de dias previstos para a operação do sistema no ano. ao custo dos deslocamentos de veículos vazios. Como se trata de um custo unitário por viagem, transportada pelo grupo de serviço g . As sexta, sétima, oitava e nona parcelas são todas relativas adicionais de estoques ocasionados para os clientes dessa demanda quando sua carga é custos variáveis de operação de se atender à demanda d pelo grupo de serviço g , e os custos navios n . A quarta e a quinta $(\{\Sigma \Sigma^{(dg)} CV^{dg} * Deqd^{dg} * Xdg + \Sigma \Sigma^{(dg)} CE^{dg} * Deqd^{dg} * Xdg\})$, representam os $(\{\Sigma^{(t)} NL^n * CFL_t * T_t + \Sigma^{(n)} CFN^n * N_n\})$ representam os custos fixos de se operar os trens t e os equivalentes dessa demanda, conforme já apresentado. A segunda e a terceira parcelas receita total, pela multiplicação das quantidades atendidas das demandas pela sua tarifa e os dias Na função objetivo apresentada, a primeira parcela $(\Sigma \Sigma^{(dg)} R^d * Deqd^{dg} * Xdg)$ representa a

$$\Sigma^{(i)} CL_i * L_i + \Sigma^{(v)} CVG^v * VG^v + \Sigma^{(p)} CPR^p * PR^p + \Sigma^{(a)} CAG^a * AG^a + \Sigma^{(m)} CMD^m * MD^m \leq INV$$

28) Orçamento disponível

$$\Sigma \Sigma^{(dg)} (Xdg * \delta_{gi} * \delta_{U_i}) \leq CAPU * Y_i$$

27) Capacidade das USS rodoviárias

$$\Sigma \Sigma^{(dg)} (Xdg * \delta_{gi} * \delta_{H_i}) \leq CAPH * Y_i$$

26) Capacidade dos hubs rodoviários

p/i,u

p/i,h

Onde:

I = valor presente do investimento total
i = número de períodos para pagamento
tx = taxa de juros do capital

FONTE: Business Logistics Management – Ballou, R.H.

A restrição (1) visa garantir o balanço de massa dos vagões nos nós da malha. De maneira análoga, foram elaboradas as restrições (2), (4) e (5), para caminhões da frota própria, agregados e unidades bimodais.

A restrição (3) visa garantir que os fluxos de caminhões vazios na malha, tanto para agregados como para caminhões da frota própria, ocorram apenas nos arcos rodoviários.

As restrições (6), (7), (8) e (9) estabelecem condições para que as unidades bimodais vazias sejam sempre transportadas por algum veículo, seja vagão ou caminhão. A restrição (10) limita o atendimento da demanda ao seu valor pedido.

As restrições (11), (12), (13), (14), (19) e (21) buscam limitar a utilização de frota à quantidade disponível para cada tipo de veículo ou bimodal.

As restrições (15) e (16) buscam limitar as quantidades transportadas por trem pela capacidade de tração do conjunto de locomotivas que formam os trens e pelo comprimento máximo dos trens determinado pelas características da via permanente. A restrição (20) limita a quantidade de trens que podem passar, por dia, em um determinado trecho da via permanente.

As restrições (17) e (18) buscam limitar o carregamento sobre navios, de acordo com o peso máximo admitido nas embarcações ou o volume máximo, respectivamente.

As restrições (22) e (23) limitam as quantidades máximas diárias que podem passar pelas unidades de transbordo rodoviária e rodoviária e rodoviária.

As restrições (23), (24), (25), (26) e (27) buscam limitar as movimentações nos nós da malha ao seu valor limite.

Por fim, a restrição (28) limita a quantidade de veículos e bimotores adquiridos, ao orçamento disponível para essas aquisições.

Com essas definições, chega-se ao final da descrição da metodologia. Em seguida, será apresentado um estudo de caso para aplicação da metodologia proposta.

4 ESTUDO DE CASO: PLANEJAMENTO DE SERVIÇOS EM UMA REDE RODOFERROVIÁRIA

Neste capítulo, será feito um estudo de caso real para uma empresa de transporte rodoferroviário. Inicialmente, serão apresentados os dados relativos à malha física e aos ativos disponíveis para o transporte. Em seguida, será descrito o modelo de apropriação de custos para entrada de dados, seguido de um breve comentário a respeito do processo de geração de grupos de serviço e fluxos de vazios.

Na primeira parte de apresentação dos resultados, serão mostrados, para o cenário-base, os indicadores que permitem melhor visualizar a atuação das restrições do modelo e os valores das variáveis de decisão, de forma que será possível identificar quais são os gargalos do sistema. Na sequência, serão avaliados novos cenários no sentido de avaliar os resultados do modelo com variações no cenário-base. O estudo de caso se encerra com a avaliação de três estratégias de melhoria do sistema: a melhoria do nível de serviço ferroviário e no de transporte por caminhões autônomos, e a redução de custos fixos ferroviários. Os resultados dirão qual das três estratégias de atuação produz melhor resultado no aumento do lucro operacional.

4.1 APRESENTAÇÃO DO SISTEMA EM ESTUDO

Uma empresa de transporte intermodal rodoferroviário deseja determinar a melhor maneira de atender a seus clientes de acordo com os ativos de que dispõe e com determinado orçamento de investimento para aquisição de novos ativos. A empresa encontra-se em fase de renegociação de contratos com seus clientes, todos eles com base anual. Para tal, necessita conhecer os grupos de serviço que atenderão a cada demanda, de maneira a maximizar seu lucro operacional.

Além disso, a empresa gostaria de avaliar o nível de serviço atual que consegue oferecer aos seus clientes no transporte rodoferroviário e no transporte por contratação de caminhões autônomos, fazendo análises de cenários caso esses níveis de serviço sejam melhorados. Ao final, será decidida qual estratégia a ser usada no ano seguinte e estabelecidos os indicadores de serviço

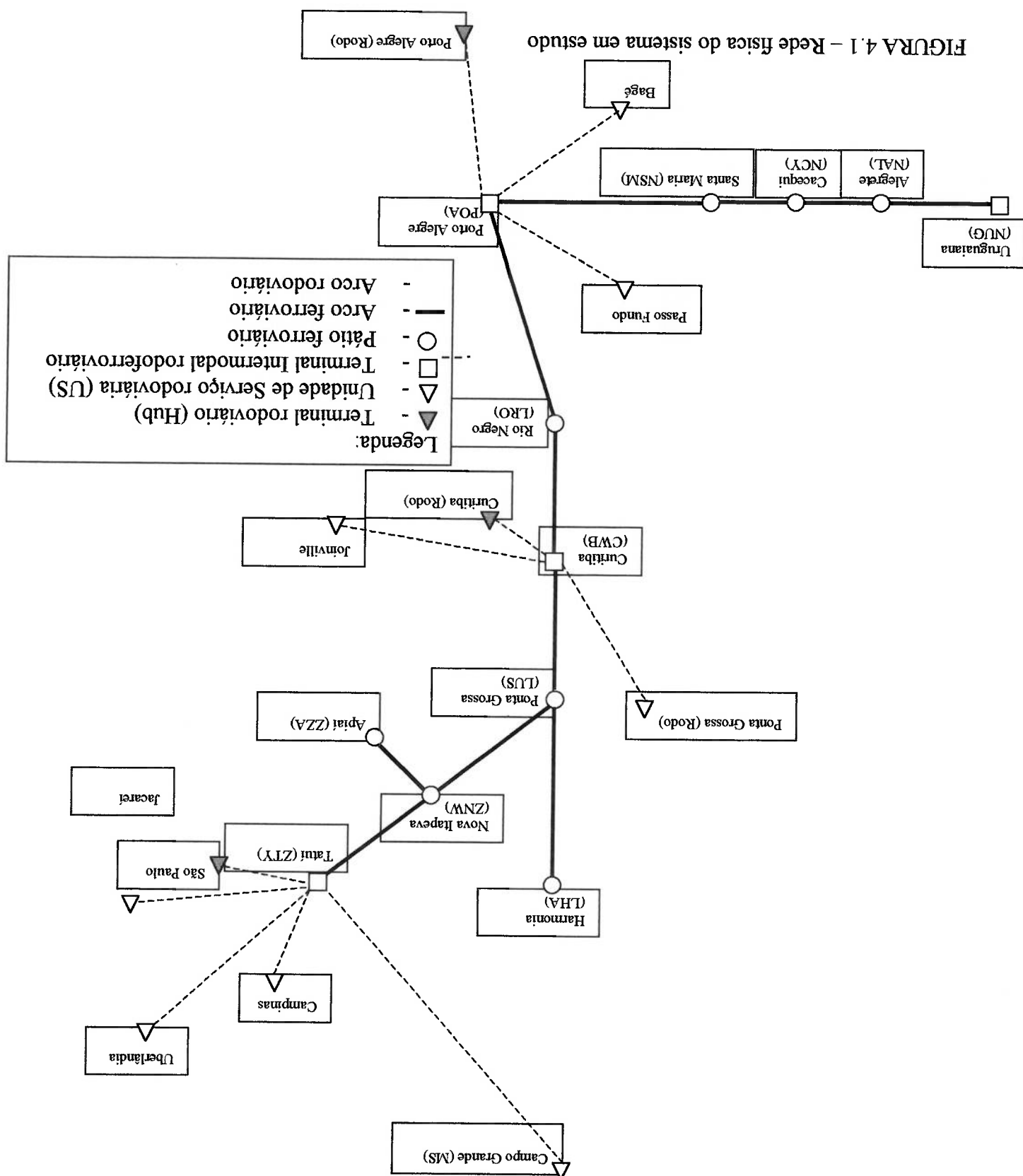
e produtividade para fechamento dos contratos, indicando os grupos de serviço que atenderão a eles.

O sistema em estudo consiste na malha ferroviária da região sul do Brasil, tendo início na cidade de Tatui (SP), passando por Curitiba, Porto Alegre até Uruguaiana, na fronteira com a Argentina. Além de nós ferroviários, existem na malha unidades de expedição rodoviárias, que podem ser exclusivamente para contratação de terceiros ou terminais rodoviários, para recebimento e expedição de frota própria ou agregados.

Alguns nós da malha ferroviária são terminais intermodais para transbordo, contendo equipamentos e estrutura para a operação rododotferroviária. Outros serão apenas pátios de triagem e formação de trens, podendo haver carregamento diretamente sobre o vagão, em clientes que dispõem de infra-estrutura ferroviária. Nesse caso, existem locomotivas de manobra nesses pátios que podem ir até o desvio desses clientes para levar vagões vazios e retirar vagões carregados sem a necessidade de transporte rodoviário.

O mapa da região em estudo está mostrado na figura 4.1 a seguir.

FIGURA 4.1 – Rede física do sistema em estudo



4.2 Mapeamento dos Ativos

Os ativos disponíveis para o transporte são caminhões de frota própria e de agregados, vagões, unidades bimodais rododotferroviárias e locomotivas. As tabelas 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6 contêm os dados do cenário, com os parâmetros necessários, conforme descrito no capítulo anterior.

TABELA 4.1 – Cadastro dos tipos de vagão para estudo de caso

| Tipo de Vagão | COD | Qtde | Ton Útil |
|-------------------------------------|-----|------|----------|
| Plataforma | 1 | 500 | 40 |
| Plataforma Fueiro (Transp. Madeira) | 2 | 50 | 40 |
| Gôndolas | 3 | 300 | 50 |
| Road Railer | 4 | 100 | 25 |
| Fechado | 5 | 200 | 48 |

TABELA 4.2 – Cadastro dos tipos de caminhão frota própria para estudo de caso

| Tipo de Caminhão Frota Própria | COD | Qtde | Custo/km Cg (R\$/ton.km) | Custo/km Vz (R\$/km) |
|--------------------------------|-----|------|--------------------------|----------------------|
| Plataforma | 1 | 30 | 0,059 | 1,6 |
| Graneleiro | 2 | 20 | 0,059 | 1,6 |
| Sider | 3 | 20 | 0,059 | 1,6 |
| Truck Road Railer | 4 | 100 | 0,074 | 2,0 |

TABELA 4.3 – Cadastro dos tipos de caminhão agregado para estudo de caso

| Tipo de Caminhão Agregado | COD | Qtde | Custo/km Carreg (R\$/ton.km) | Custo/km Vz (R\$/km) |
|---------------------------|-----|------|------------------------------|----------------------|
| Plataforma | 1 | 50 | 0,054 | 0,943 |
| Graneleiro | 2 | 25 | 0,054 | 0,943 |
| Sider | 3 | 25 | 0,054 | 0,943 |

TABELA 4.4 – Cadastro dos tipos de bimodais para estudo de caso

| Tipo de Equipamento | COD | T descarga | T descarga | Qtde | TU/vagão |
|---------------------|-----|------------|------------|------|----------|
| Contêiner 20' | 1 | 5 | 5 | 5 | 50 |
| Contêiner 40' | 2 | 5 | 5 | 5 | 25 |
| Carreta Road Railer | 3 | 3 | 3 | 3 | 25 |

| Tipo de Locomotiva | COD | Qtd | Custo Fixo (R\$) |
|--------------------|-----|-----|------------------|
| GT | 1 | 10 | 125.000,00 |
| G22UB | 2 | 14 | 75.000,00 |
| U20C | 3 | 6 | 95.000,00 |
| G12 | 4 | 6 | 70.000,00 |

TABELA 4.5 – Cadastro de tipos de locomotiva para estudo de caso

TABELA 4.6 – Cadastro de tipos de transbordo rodoferroviário para estudo de caso

| Modalidade de Transbordo | COD | CAPACIDADE (ton/dia) | Custo/ton (R\$) |
|--------------------------|-----|----------------------|-----------------|
| Pórtico | 1 | 80 | 3,4 |
| Ponte Rolante | 2 | 443 | 4,1 |
| Estivado | 3 | 600 | 8,3 |
| Road Railer | 4 | 20 | 4 |

A partir da frota disponível de locomotivas, foi construída a tabela 4.7, que mostra todos os possíveis trens regulares que podem circular pela malha, conforme apresentado no capítulo anterior. O modelo decidirá quais trens deverão circular regularmente e quais não serão oferecidos.

TABELA 4.7 – Trajeto de trens candidatos a serem selecionados na modelagem

| COD TREM | TREM | ORIGEM | DESTINO | TP LOCO | N LOCO | Kgt | N LOCOS | T Tipo | SUB ROTEIRO | CAPACIDADE TB |
|-----------|------|--------|---------|---------|--------|-----|---------|--------|-------------|---------------|
| 1 U01/01 | LUS | ZTY | U20C | 20000 | 6 | 2 | 20 | 2200 | 20 | 2200 |
| 1 U01/01 | LUS | ZTY | U20C | 20000 | 6 | 2 | 22 | 1500 | 22 | 1500 |
| 1 U01/01 | ZTY | LUS | U20C | 20000 | 6 | 2 | 3 | 2200 | 3 | 2200 |
| 1 U01/01 | ZTY | LUS | U20C | 20000 | 6 | 2 | 1 | 1500 | 1 | 1500 |
| 2 U02/02 | LUS | ZTY | U20C | 20000 | 9 | 2 | 20 | 3000 | 20 | 3000 |
| 2 U02/02 | LUS | ZTY | U20C | 20000 | 9 | 2 | 22 | 2250 | 22 | 2250 |
| 2 U02/02 | ZTY | LUS | U20C | 20000 | 9 | 2 | 1 | 2250 | 1 | 2250 |
| 2 U02/02 | ZTY | LUS | U20C | 20000 | 9 | 2 | 1 | 3000 | 1 | 3000 |
| 3 A1/03 | ZTY | ZZA | U20C | 20000 | 2 | 2 | 21 | 1500 | 21 | 1500 |
| 3 A1/03 | ZTY | ZZA | U20C | 20000 | 2 | 2 | 1 | 1500 | 1 | 1500 |
| 3 A1/03 | ZTY | ZZA | U20C | 20000 | 2 | 2 | 2 | 1500 | 2 | 1500 |
| 3 A1/03 | ZTY | ZZA | U20C | 20000 | 2 | 2 | 2 | 1500 | 2 | 1500 |
| 3 A1/03 | ZTY | ZZA | U20C | 20000 | 2 | 2 | 2 | 1500 | 2 | 1500 |
| 4 U03/H01 | LHA | LHA | G22UB | 15540 | 1 | 1 | 4 | 900 | 4 | 900 |
| 4 U03/H01 | LUS | LHA | G22UB | 15540 | 1 | 1 | 4 | 900 | 4 | 900 |
| 5 R01/U04 | LRO | LRO | GT | 26000 | 3 | 3 | 18 | 5700 | 18 | 5700 |
| 5 R01/U04 | LUS | LRO | GT | 26000 | 3 | 3 | 5 | 5700 | 5 | 5700 |
| 5 R01/U04 | LUS | LRO | GT | 26000 | 3 | 3 | 6 | 5700 | 6 | 5700 |
| 5 R01/U04 | LUS | LRO | GT | 26000 | 3 | 3 | 17 | 5700 | 17 | 5700 |
| 5 R01/U04 | LUS | LRO | GT | 26000 | 3 | 3 | 18 | 5700 | 18 | 5700 |
| 6 R02/U05 | LRO | LRO | GT | 26000 | 3 | 3 | 5 | 5700 | 5 | 5700 |
| 6 R02/U05 | LUS | LRO | GT | 26000 | 3 | 3 | 17 | 5700 | 17 | 5700 |
| 6 R02/U05 | LUS | LRO | GT | 26000 | 3 | 3 | 18 | 5700 | 18 | 5700 |
| 6 R02/U05 | LUS | LRO | GT | 26000 | 3 | 3 | 5 | 5700 | 5 | 5700 |
| 6 R02/U05 | LUS | LRO | GT | 26000 | 3 | 3 | 6 | 5700 | 6 | 5700 |

TABELA 4.7 - Continuação

| COD TREM | TREM | ORIGEM | DESTINO | TP LOCO | KgT | N LOCOS | T Tipo | SUB ROTEIROS | CAPACIDADE TB |
|-----------|------|--------|---------|---------|-------|---------|--------|--------------|---------------|
| 7P01/R03 | LRO | POA | LRO | GT | 26000 | 9 | 3 | 7 | 4200 |
| 7P01/R03 | POA | LRO | LRO | GT | 26000 | 9 | 3 | 16 | 4200 |
| 8C01/U06 | CWB | LUS | LUS | GT | 26000 | 3 | 3 | 18 | 5700 |
| 8C01/U06 | LUS | LUS | LUS | GT | 26000 | 3 | 3 | 5 | 5700 |
| 9P02/C02 | CWB | POA | POA | GT | 26000 | 12 | 3 | 6 | 5700 |
| 9P02/C02 | CWB | POA | POA | GT | 26000 | 12 | 3 | 7 | 4200 |
| 9P02/C02 | POA | CWB | CWB | GT | 26000 | 12 | 3 | 17 | 5700 |
| 9P02/C02 | POA | CWB | CWB | GT | 26000 | 12 | 3 | 16 | 4200 |
| 10Y01/P03 | POA | NCY | POA | GT | 26000 | 6 | 3 | 14 | 4500 |
| 10Y01/P03 | POA | NCY | POA | GT | 26000 | 6 | 3 | 15 | 5100 |
| 10Y01/P03 | POA | NCY | POA | GT | 26000 | 6 | 3 | 8 | 5100 |
| 11M01/P04 | MSM | POA | POA | GT | 26000 | 6 | 3 | 15 | 5100 |
| 11M01/P04 | POA | MSM | POA | GT | 26000 | 6 | 3 | 8 | 5100 |
| 12G01/M02 | NSM | NSM | NSM | G12 | 15000 | 6 | 3 | 11 | 2700 |
| 12G01/M02 | NSM | NSM | NSM | G12 | 15000 | 6 | 3 | 9 | 2700 |
| 12G01/M02 | NSM | NSM | NSM | G12 | 15000 | 6 | 3 | 11 | 2100 |
| 12G01/M02 | NSM | NSM | NSM | G12 | 15000 | 6 | 3 | 13 | 2700 |
| 13G02/V02 | NCY | NCY | NCY | G12 | 15000 | 6 | 3 | 10 | 2100 |
| 13G02/V02 | NCY | NCY | NCY | G12 | 15000 | 6 | 3 | 11 | 2100 |
| 13G02/V02 | NCY | NCY | NCY | G12 | 15000 | 6 | 3 | 10 | 2700 |
| 13G02/V02 | NCY | NCY | NCY | G12 | 15000 | 6 | 3 | 12 | 2100 |
| 14G03/I04 | NUG | ZTY | ZTY | G22UB | 15540 | 12 | 3 | 17 | 1350 |
| 14G03/I04 | NUG | ZTY | ZTY | G22UB | 15540 | 12 | 3 | 22 | 825 |
| 14G03/I04 | NUG | ZTY | ZTY | G22UB | 15540 | 12 | 3 | 18 | 1350 |
| 14G03/I04 | NUG | ZTY | ZTY | G22UB | 15540 | 12 | 3 | 16 | 1050 |
| 14G03/I04 | NUG | ZTY | ZTY | G22UB | 15540 | 12 | 3 | 15 | 1125 |
| 14G03/I04 | NUG | ZTY | ZTY | G22UB | 15540 | 12 | 3 | 14 | 1200 |
| 14G03/I04 | NUG | ZTY | ZTY | G22UB | 15540 | 12 | 3 | 14 | 1200 |
| 14G03/I04 | NUG | ZTY | ZTY | G22UB | 15540 | 12 | 3 | 13 | 1200 |
| 14G03/I04 | NUG | ZTY | ZTY | G22UB | 15540 | 12 | 3 | 13 | 1200 |
| 14G03/I04 | NUG | ZTY | ZTY | G22UB | 15540 | 12 | 3 | 12 | 975 |
| 14G03/I04 | NUG | ZTY | ZTY | G22UB | 15540 | 12 | 3 | 20 | 1050 |
| 14G03/I04 | NUG | ZTY | ZTY | G22UB | 15540 | 12 | 3 | 10 | 1200 |
| 14G03/I04 | NUG | ZTY | ZTY | G22UB | 15540 | 12 | 3 | 9 | 1200 |
| 14G03/I04 | NUG | ZTY | ZTY | G22UB | 15540 | 12 | 3 | 8 | 1125 |
| 14G03/I04 | NUG | ZTY | ZTY | G22UB | 15540 | 12 | 3 | 7 | 1050 |
| 14G03/I04 | NUG | ZTY | ZTY | G22UB | 15540 | 12 | 3 | 6 | 1350 |
| 14G03/I04 | NUG | ZTY | ZTY | G22UB | 15540 | 12 | 3 | 5 | 1350 |
| 14G03/I04 | ZTY | NUG | NUG | G22UB | 15540 | 12 | 3 | 3 | 1050 |
| 14G03/I04 | ZTY | NUG | NUG | G22UB | 15540 | 12 | 3 | 1 | 825 |
| 14G03/I04 | ZTY | NUG | NUG | G22UB | 15540 | 12 | 3 | 11 | 975 |
| 15G04/I05 | NUG | ZTY | ZTY | G22UB | 15540 | 24 | 3 | 20 | 2100 |
| 15G04/I05 | NUG | ZTY | ZTY | G22UB | 15540 | 24 | 3 | 13 | 2400 |
| 15G04/I05 | NUG | ZTY | ZTY | G22UB | 15540 | 24 | 3 | 14 | 2400 |
| 15G04/I05 | NUG | ZTY | ZTY | G22UB | 15540 | 24 | 3 | 22 | 1650 |

| COD | Origem | Destino | Mercadoria | Dens. Valor (R\$/Ton) | Volume (ton) | Dias Equiv | Tarifa (R\$/ton) |
|----------------|-----------|-----------|----------------------|-----------------------|--------------|------------|------------------|
| 1 Campinas | NUG | NUG | PAPÉL/CELULOSE | 2800 | 20 | 250 | 100 |
| 2 Campinas | NUG | NUG | QUÍMICO/PETROQUÍMICO | 525C | 1 | 300 | 110 |
| 3 Campo Grande | NUG | NUG | QUÍMICO/PETROQUÍMICO | 5250 | 10 | 300 | 120 |
| 4CWB | POA | POA | CLINQUER | 50 | 1520 | 287 | 55 |
| 5CWB | NUG | NUG | SIDERÚRGICO | 3450 | 102,4 | 223 | 80 |
| 6Jacarei | NUG | NUG | ROAD RAILLER | 3920 | 2 | 300 | 100 |
| 7Joinville | NUG | NUG | MADEIRA | 100 | 10 | 300 | 100 |
| 8LHA | Campinas | Campinas | PAPÉL/CELULOSE | 2800 | 60 | 240 | 40 |
| 9LHA | LUS | LUS | PAPÉL/CELULOSE | 2800 | 260 | 300 | 20 |
| 10LHA | NUG | NUG | PAPÉL/CELULOSE | 2800 | 8 | 300 | 95 |
| 11NAL | São Paulo | São Paulo | ARROZ | 890 | 240 | 300 | 80 |
| 12NCY | ZTY | ZTY | ARROZ | 890 | 36 | 250 | 80 |

TABELA 4.8 – Dados de demanda de transporte

Os dados de demanda encontram-se consolidados na tabela 4.8. O quadro mostra o perfil das demandas a serem atendidas. Pode-se observar que as densidades de valor das mercadorias variam de R\$ 50,00/ton a R\$ 5.250,00/ton. As tarifas colocadas na última coluna representam tarifas de transporte rodoviário direto com frota própria, conforme o conceito da modelagem.

4.3 AS DEMANDAS DE TRANSPORTE

| | | | | | | | | |
|----------|-----|-----|-------|-------|----|---|----|------|
| 15G04/05 | NUG | ZTY | G22UB | 15540 | 24 | 3 | 15 | 2250 |
| 15G04/05 | NUG | ZTY | G22UB | 15540 | 24 | 3 | 16 | 2100 |
| 15G04/05 | NUG | ZTY | G22UB | 15540 | 24 | 3 | 12 | 1950 |
| 15G04/05 | NUG | ZTY | G22UB | 15540 | 24 | 3 | 18 | 2700 |
| 15G04/05 | NUG | ZTY | G22UB | 15540 | 24 | 3 | 17 | 2700 |
| 15G04/05 | NUG | ZTY | G22UB | 15540 | 24 | 3 | 7 | 2100 |
| 15G04/05 | NUG | ZTY | G22UB | 15540 | 24 | 3 | 11 | 1950 |
| 15G04/05 | NUG | ZTY | G22UB | 15540 | 24 | 3 | 10 | 2400 |
| 15G04/05 | NUG | ZTY | G22UB | 15540 | 24 | 3 | 8 | 2250 |
| 15G04/05 | NUG | ZTY | G22UB | 15540 | 24 | 3 | 6 | 2700 |
| 15G04/05 | NUG | ZTY | G22UB | 15540 | 24 | 3 | 5 | 2700 |
| 15G04/05 | NUG | ZTY | G22UB | 15540 | 24 | 3 | 3 | 2100 |
| 15G04/05 | NUG | ZTY | G22UB | 15540 | 24 | 3 | 1 | 1650 |
| 15G04/05 | NUG | ZTY | G22UB | 15540 | 24 | 3 | 9 | 2400 |

TABELA 4.7 – Continuação

| | | | | | | |
|-----------------|--------------|--------------------------|------|------|-----|-----|
| 13NUG | Campinas | POLIETILENO | 2300 | 50 | 260 | 90 |
| 14NUG | Campinas | QUÍMICO/PETROQUÍMICO | 5250 | 31 | 300 | 110 |
| 15NUG | Jacarei | ROAD RAILLER | 3920 | 5 | 300 | 90 |
| 16NUG | POA | QUÍMICO/PETROQUÍMICO | 5250 | 20 | 300 | 90 |
| 17NUG | Porto Alegre | ROAD RAILLER | 3920 | 30 | 200 | 70 |
| 18NUG | Porto Alegre | SIDERÚRGICO | 3450 | 160 | 232 | 65 |
| 19NUG | São Paulo | ALIMENTOS | 1320 | 39 | 236 | 120 |
| 20NUG | São Paulo | ROAD RAILLER | 3920 | 12 | 300 | 125 |
| 21NUG | São Paulo | SIDERÚRGICO | 3450 | 87,8 | 236 | 110 |
| 22NUG | ZTY | ARROZ | 890 | 400 | 259 | 100 |
| 23NUG | ZTY | QUÍMICO/PETROQUÍMICO | 5250 | 180 | 253 | 130 |
| 24POA | Campinas | POLIETILENO | 2300 | 40 | 200 | 90 |
| 25POA | Curitiba | POLIETILENO | 2300 | 220 | 250 | 50 |
| 26POA | CWB | POLIETILENO | 2300 | 20 | 300 | 55 |
| 27POA | Rio Grande | POLIETILENO | 2300 | 120 | 275 | 30 |
| 28POA | São Paulo | ARROZ | 890 | 40 | 245 | 80 |
| 29POA | ZTY | FERRO | 600 | 180 | 267 | 86 |
| 30POA | ZTY | POLIETILENO | 2300 | 300 | 247 | 70 |
| 31 Porto Alegre | NUG | POLIETILENO | 2300 | 60 | 240 | 40 |
| 32 Pouso Alegre | Porto Alegre | ALIMENTOS | 1320 | 2 | 300 | 100 |
| 33São Paulo | NUG | ALIMENTOS | 1320 | 52 | 229 | 100 |
| 34São Paulo | NUG | PAPEL/CELULOSE | 2800 | 15 | 300 | 100 |
| 35São Paulo | NUG | QUÍMICO/PETROQUÍMICO | 5250 | 23 | 289 | 120 |
| 36São Paulo | NUG | ROAD RAILLER | 3920 | 32 | 300 | 110 |
| 37São Paulo | NUG | SIDERÚRGICO | 3450 | 25,6 | 250 | 130 |
| 38Uberlândia | NUG | POLIETILENO | 2300 | 30 | 300 | 140 |
| 39Uberlândia | NUG | QUÍMICO/PETROQUÍMICO | 5250 | 3 | 300 | 100 |
| 40ZTY | Curitiba | BOBINA DE AÇO | 3450 | 40 | 200 | 70 |
| 41ZTY | Porto Alegre | BOBINA DE AÇO | 3450 | 360 | 283 | 80 |
| 42ZTY | ZTY | CAL | 50 | 400 | 280 | 30 |
| 43ZTY | NUG | QUÍMICO/PETROQUÍMICO | 5250 | 60 | 300 | 100 |
| 44ZTY | POA | QUÍMICO/PETROQUÍMICO | 5250 | 50 | 266 | 80 |
| 45ZTY | Porto Alegre | FERRO | 600 | 80 | 290 | 80 |
| 46ZZA | LUS | CIMENTO ACONDICIONADO | 50 | 408 | 298 | 30 |
| 47ZZA | POA | CIMENTO ACONDICIONADO | 50 | 140 | 271 | 50 |
| 48ZZA | ZTY | CALCÁRIO INDUSTRIALIZADO | 50 | 120 | 283 | 30 |

Obs.: Os dados de tarifa são valores fictícios, porém de ordens de grandeza semelhantes aos valores reais.

4.4 CÁLCULO DE CUSTOS NO SISTEMA

O objetivo central da pesquisa é o desenvolvimento do modelo para planejamento de serviços de transporte intermodal. Em qualquer aplicação da metodologia, para que os resultados sejam consistentes, é necessário estimar adequadamente os valores de todos os parâmetros. Assim sendo, esta seção busca esclarecer as premissas envolvidas no cálculo dos custos, muito embora não seja o objetivo central do presente trabalho.

Abaixo, serão novamente listadas as parcelas de custos, de maneira a fornecer informações mais detalhadas sobre o conceito destes custos.

4.4.1 CUSTO VARIÁVEL DE TRANSPORTE PELO GRUPO DE SERVIÇO G

É a soma dos custos variáveis de cada etapa do transporte desde a origem até o destino da demanda. Se, por exemplo, um grupo de serviço possui uma ponta rodoviária com frota própria, um transbordo rodoviário seguido por um trajeto de ferrovia, e outro transbordo para, enfim, uma entrega final rodoviária, tem-se a seguinte fórmula de custo:

$$CVAR_{total} = CVAR_{ponta1} + CVAR_{transb1} + CVAR_{ferro} + CVAR_{transb2} + CVAR_{ponta2}$$

Em seguida, serão melhor detalhados os custos ferroviários, rodoviários e de transbordo.

Custo Variável Ferroviário

Os custos variáveis no transporte ferroviário são muito dependentes do trecho no qual o trem está circulando. Em ferrovias, o fator de traçado da via influi muito no consumo de diesel, que constitui o item de maior peso na composição do custo. Segundo a empresa fornecedora dos

dados, os custos variáveis ferroviários possuem uma correlação muito boa com o índice tonelaada bruta por quilograma força (TB/kgf). Este índice indica quantas toneladas 1 (um) kgf consegue tracionar em determinado trecho. Para o estudo realizado, foram coletados dados de maneira a construir uma equação que permita o cálculo do custo variável ferroviário. Os resultados encontram-se na figura 4.2.

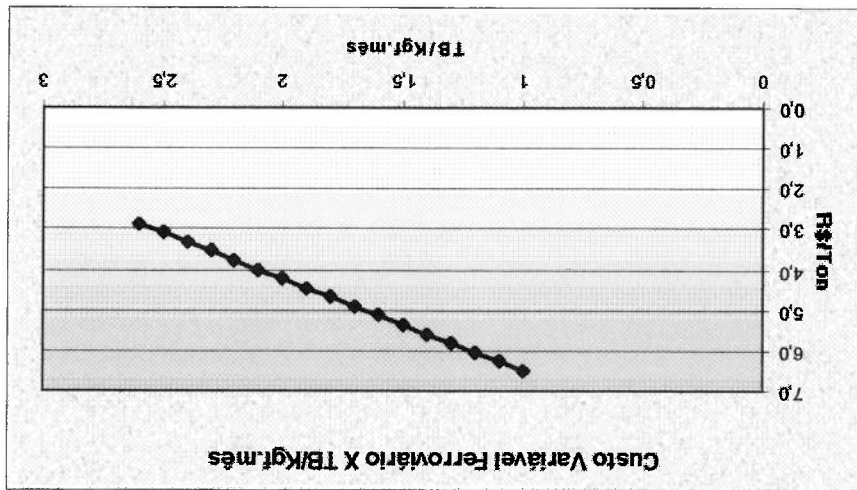


FIGURA 4.2 – Relação TB/kgf colada

Esses valores são válidos para uma distância de transporte de 600 km. No estudo de caso, cada arco ferroviário possui sua relação TB/kgf. Para cada grupo de serviço foi calculado o custo variável ferroviário (quando houver trecho ferroviário) pela soma ponderada de todos os arcos por onde o grupo de serviço passa.

Custo Variável Rodoviário

O custo variável rodoviário deve ser separado para a frota de agregados, a frota própria e a de terceiros. Os custos da frota própria e de agregados são valores fixos por ton.Km, uma vez que toda remuneração dos agregados se dá nesta base além de os custos de frota serem lineares com a distância, segundo a empresa fornecedora dos dados. Muito embora haja diferenças no custo de transporte de acordo com a rodovia em que se trafega, a hipótese de linearidade é bem mais razoável do que no caso da ferrovia. Assim sendo, o modelo utilizou os custos referidos nas tabelas de mapeamento dos ativos apresentadas na seção 4.2.

Já os custos de contratação de terceiros não são lineares com a distância. Foi necessário um levantamento de dados e a busca de uma curva de regressão para calcular os fretes de acordo com a distância. Como hipótese, admitiu-se que essa curva é válida para qualquer cidade de origem dentro do sistema em estudo. Os resultados são apresentados na figura 4.3.

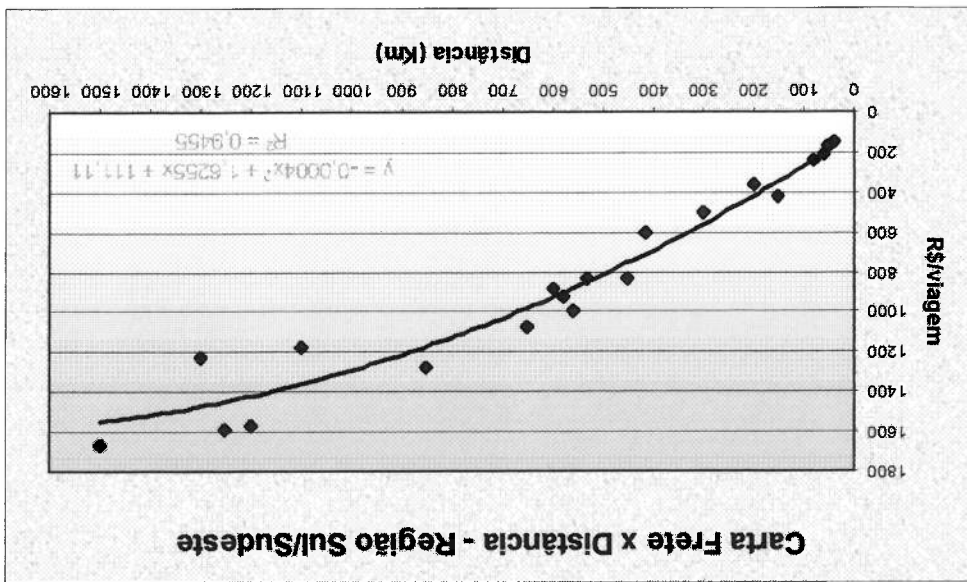


FIGURA 4.3 – Fretes de terceiros X distância de transporte

Custo Variável de transbordo rodoferroviário

São custos tabelados para cada tipo de transbordo rodoferroviário, também conforme a tabela da seção 4.2. Pode-se observar que o custo da modalidade transbordo estivo é bem superior ao das modalidades de transbordo mecanizadas, ou seja, pórtico, ponte rolante e *road railer*. No entanto, deve-se considerar que essas últimas possuem custos fixos que estão incorporados na modelagem.

4.4.2 CUSTOS FIXOS DOS NÓS

Trata-se dos custos de operação fixos de pátios, terminais rodoviários e unidades de empresa fornecedora dos dados para o estudo de caso, não é possível a eliminação total de custos

fixos de uma estação ferroviária, pois esbarraria em cláusulas do contrato de concessão da ferrovia que obriga a manter a estação em funcionamento. O custo fixo que foi levado em conta nesse caso foi apenas aquele que pode ser cortado, caso não haja volume algum transportado por aquele nó. A estação, ainda que não tenha atividades operacionais, deve possuir manutenção, sistemas e equipe mínima para manter-se operando.

Já no caso de terminais e unidades de serviço rodoviárias, é possível deixar de operar totalmente o nó. Assim sendo, os valores de custo fixo são maiores, muito embora, na realidade, os pátios ferroviários sejam sistemas mais complexos e mais caros de se operar.

4.4.3 CUSTOS DE VIAGENS DE VAGÕES VAZIOS

O cálculo de custos variáveis, nesse caso, é bem semelhante ao caso da viagem carregada. Cada fluxo de vagões vazios possui um roteiro ferroviário e o custo variável se dá pela relação TB/kgf de cada trecho do roteiro e sua soma ponderada. Porém, a unidade nesse caso é vagão vazio transportado e não mais tonelada transportada. Portanto, devem-se multiplicar os valores obtidos na curva de regressão pela tonelada bruta do tipo de vagão correspondente.

4.4.4 CUSTOS VARIÁVEIS DE VIAGENS VAZIAS DE CAMINHÕES

Os custos variáveis estão apresentados nas tabelas da seção 4.2. Os custos, assim como no caso de viagens de vagões vazios, são por viagem de caminhão de uma origem a um destino e não mais por tonelada.

O custo variável da viagem de terceiros é o mesmo da curva de regressão apresentada anteriormente.

4.4.5 CUSTOS DE ESTOQUE GERADOS PARA AS DEMANDAS NOS GRUPOS DE SERVIÇO

Os custos de estoque foram calculados somando-se duas parcelas: os custos de estoque em trânsito devido ao acréscimo nos tempos de trânsito e os custos acréscimo de estoque médio nas pontas devido à dispersão dos tempos de trânsito dos serviços em torno de seu valor médio. Esses custos são calculados com base nos tempos de trânsito das mercadorias admitindo-se um custo de oportunidade de 2% ao mês. Os custos de estoques são calculados usando uma base zero que corresponde ao transporte rodoviário direto com frota própria ou agregados. Em outras palavras, o custo de estoque somente aparecerá como parcela em grupos de serviço que possuam tempos de trânsito e/ou dispersão do tempo de trânsito superior ao transporte rodoviário direto com frota própria ou agregados. Isso porque as tarifas de transporte usadas na função objetivo são também nesta base. Por essa razão, apenas os grupos de serviço rodoviários e com transporte de terceiros possuem custos de estoque maiores que zero. No caso do transporte rodoviário, além de existir a parcela de custo de estoque nas pontas devido a altas dispersões nos tempos de trânsito, os tempos médios de trânsito são também maiores, o que implica o aparecimento, também, da primeira parcela do custo. Já o transporte em caminhão de terceiros possui o mesmo tempo médio dos caminhões frota própria e agregados, porém com altas dispersões em torno dos tempos médios de execução do serviço. Isso acontece pelo fato de que nem sempre é possível contratar um caminhão de terceiros no momento em que é requisitado. O índice que mede essa dispersão é a probabilidade de contratação de terceiros em determinado ponto. Se o valor da probabilidade for 1, o transporte se comporta como se fosse com frota própria ou de agregados.

Para o estudo feito, foram considerados dois tempos de trânsito: o tempo médio e o tempo para 95% dos casos, ou seja, o tempo de trânsito abaixo do qual encontram-se 95% das ocorrências previstas, admitindo-se uma curva de distribuição normal para a função de probabilidade. No restante do texto esse tempo será referenciado apenas como tempo 95%.

Segundo a empresa fornecedora dos dados para o estudo de caso, os tempos de trânsito ferroviários são dependentes do número de conexões entre trens que os vagões fazem até a chegada ao seu destino final. Para cada conexão, o vagão fica parado, em média, 24 horas, sendo

até 36 horas em 95% dos casos. Assim, para os grupos de serviço rodoferrviários foi contado o número de conexões feitas, conforme a sequência de trens daquele grupo de serviço, e adicionado, para cada conexão, 1 dia para o tempo de trânsito médio e 1,5 dia para o tempo de trânsito 95%, em cima do tempo de percurso. O tempo de percurso rodoferrviário é o tempo de trajeto apenas dos trens, sem contar o tempo de vagão parado em pátios intermediários aguardando conexão. Este tempo de trajeto é obtido dividindo-se a distância total por uma velocidade média de 17 km/h (valor médio fornecido pela empresa), valor admitido para os trens na malha proposta. O tempo rodoferrviário total é finalmente obtido somando-se o tempo de trajeto (já com as conexões) com os tempos de carga e descarga do vagão.

Os tempos totais no transporte rodoferrviário são obtidos somando o tempo rodoferrviário, conforme os critérios acima, com os tempos das pontas rodoviárias.

Para melhor ilustrar o critério descrito, admitta-se um exemplo em que um grupo de serviço rodoferrviário transporta de um ponto A para outro ponto B, passando por um terminal intermodal Ai na origem e um Bi no destino. No seu trajeto rodoferrviário, o vagão usará 3 trens diferentes para se movimentar de Ai para Bi, conforme a figura 4.4. Pelo exemplo dado nesta figura, a mercadoria seria transportada de A até Ai, seguindo de vagão de Ai até Bi, passando por C1 e C2, locais onde pega conexão entre trens T1 para T2 e T2 para T3, respectivamente. Se o tempo de trânsito dos trens T1, T2 e T3 somam 3 dias, este passa a ser o tempo de percurso rodoferrviário. O tempo de trânsito do vagão passa a ser 3 dias (mínimo) + 2 dias de conexões (uma para cada conexão) + 2 dias de carga e descarga (1 dia para carga e 1 dia para descarga), totalizando 7 dias. Somam-se a esse tempo os tempos nas pontas que podem ser 1,0 dia de trajeto rodoviário (0,5 para cada ponta) + 1,0 dia de carga e descarga (0,5 dia para carga e 0,5 dia para descarga). O tempo médio total passa a ser 9 dias. O tempo em 95% dos casos seria 9 dias + 1 dia (0,5 dia adicional para cada conexão), totalizando 10 dias.

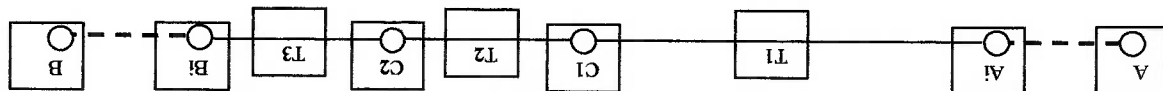


FIGURA 4.4 – Exemplo para cálculo dos parâmetros de tempo de trânsito

Para o cálculo do tempo de trânsito rodoviário, divide-se inicialmente a distância percorrida pela velocidade média de 50 km/h, admitida para este estudo de caso. Porém, a cada 12 horas de trânsito, são somadas mais 12 horas para o descanso do motorista.

No caso de frota própria e agregados, como simplificação, os tempos 95% são semelhantes aos tempos médios. Muito embora haja diferenças nesses tempos, elas são pequenas. Já para o transporte de terceiros, o tempo 95% é calculado pela probabilidade de contratação do caminhão para atendimento à demanda em um determinado dia. Quanto maior for a probabilidade, menor será o número de dias em que se garante, com 95% de certeza, que o caminhão será contratado e a mercadoria será transportada (ver resultados da tabela 4.9). Como exemplo, admita-se um local em que a probabilidade de contratação seja 50%. A probabilidade de não se contratar, num dado dia, seria também de 50%. Para que se garanta 95% de confiança de que será contratado um caminhão deve-se ter, em média, 4,3 dias de operação, pois $0,5^{4,3} = 0,05007$. Assim, ter-se-ia apenas 5% de chance de não se conseguir uma contratação.

Para o caso estudado, foram obtidos dados históricos para cálculo da probabilidade de contratação. Foram coletados dados de pedidos de carga para o dia seguinte lançados pela área comercial e o número de contratações realizadas para atendimento a tais pedidos. Os pedidos cancelados de última hora foram expurgados das análises. Os resultados dessa análise são apresentados na tabela 4.9 e, a partir da porcentagem média de atendimento desta tabela, adotou-se o valor de 0,7 para a probabilidade de contratação. Admitiu-se também que as probabilidades de contratação são independentes de um dia para outro, ou seja, a probabilidade de contratação num dia qualquer é igual a 0,7, independentemente do resultado do dia anterior.

TABELA 4.9 – Pedidos confirmados X Pedidos atendidos – Contratação de terceiros

| Dia | Pedidos Confirmados | Pedidos Atendidos | % Atendimento |
|-----|---------------------|-------------------|---------------|
| 1 | 30 | 10 | 33% |
| 2 | 41 | 36 | 88% |
| 3 | 20 | 5 | 25% |
| 4 | 16 | 14 | 88% |
| 5 | 25 | 22 | 88% |
| 6 | 85 | 45 | 53% |
| 7 | 12 | 4 | 33% |
| 8 | 23 | 20 | 87% |

R\$ 14,00/ton.

No exemplo dado do grupo de serviço rodoviário, admitiu-se que o tempo de trânsito padrão do transporte com frota própria e de agregados fosse de 3 dias e o valor da mercadoria transportada fosse de R\$ 3.000,00/ton. O valor final ficaria: $\{(9-3)+(10-9)\} * 0,02/30 =$

extravio da mercadoria.

que está sendo transportada. Foram usados valores relativos a pagamento de seguro no caso de O valor unitário da mercadoria é o valor propriamente dito da mercadoria no momento em

$$CE = \{(TT_{\text{médio}} - TT_{\text{médio FP/AG}}) + (TT_{95\%} - TT_{\text{médio}})\} * (0,02/30) * \text{Valor unitário da mercadoria}$$

Com tais conceitos colocados, a fórmula de cálculo dos custos de estoques fica:

características do cliente e não do ativo utilizado.

No cálculo dos tempos ferroviário e rodoviário, foram fornecidas médias históricas dos tempos de carga e descarga para cada tipo de modal. Assim, independentemente do tipo de caminhão ou tipo de vagão que fará o transporte, os tempos de carregamento e descarregamento são os mesmos para uma dada demanda. Embora esses tempos de operação, para cada tipo de vagão, por exemplo, possam ser diferentes, existe um tempo de espera para carregar ou descarregar que entra nesta parcela de tempo total de carga/descarga. Normalmente, esses tempos são bem maiores do que o tempo de operação propriamente dito e as esperas se devem a

| | | | |
|--------------|------------|------------|------------|
| 9 | 44 | 36 | 82% |
| 10 | 35 | 20 | 57% |
| 11 | 101 | 62 | 61% |
| 12 | 15 | 14 | 93% |
| 13 | 26 | 20 | 77% |
| 14 | 31 | 28 | 90% |
| 15 | 55 | 45 | 82% |
| 16 | 10 | 6 | 60% |
| 17 | 33 | 27 | 82% |
| 18 | 12 | 10 | 83% |
| 19 | 51 | 43 | 84% |
| 20 | 15 | 11 | 73% |
| 21 | 9 | 5 | 56% |
| Total | 689 | 483 | 70% |

Esse custo é calculado admitindo-se que todos os clientes aceitam 5% de *stock-out*. Por *stock-out* admita-se como a probabilidade de falta de produto nos estoques dos clientes devido a tempos de trânsito muito acima do esperado. Isso, porém, pode não ser uma boa aproximação em determinadas situações. Alguns sistemas de produção podem exigir, no máximo, 1% de *stock-out* e outros não possuem toda essa exigência. Além disso, há outros problemas relacionados aos impactos que um sistema de transportes pode causar dentro da cadeia de suprimentos dos clientes. Por exemplo, se os clientes não possuem espaço para estoques nas pontas, uma alternativa de transporte pode ser inviável logo em primeiro momento. Não faz parte do escopo deste trabalho abranger todos esses impactos na modelagem. O estudo da influência dos sistemas de transportes na cadeia de suprimentos é um tema muito mais amplo e merecedor de pesquisas específicas sobre o assunto.

4.4.6 CUSTOS DE AQUISIÇÃO DE ATIVOS

Consiste no custo de compra de determinados ativos baseado em valores de mercado passados pela empresa fornecedora dos dados. Esse custo pode ser calculado pela fórmula apresentada na seção 3.5. Usou-se, para o estudo de caso, um horizonte de 5 anos para recuperação do investimento e uma taxa de juros anual de 28%.

Com as características passadas acima, foram gerados os grupos de serviço e fluxo de vazios de vagões e de bimodais para cada demanda.

4.5 GRUPOS DE SERVIÇO E FLUXOS DE VAGÕES E BIMODAIS VAZIOS

Para o estudo de caso foram gerados 916 grupos de serviço, 314 fluxos de vagões vazios e 608 fluxos de bimodais vazios. A lista completa dos grupos de serviço e fluxos de vazios encontra-se no ANEXO 2. Para cada demanda, foram construídos sempre grupos de serviço intermediários diretos com terceiros, com frota própria e agregados, sempre observando a compatibilidade das demandas com os ativos.

4.6 RESULTADOS INICIAIS

O modelo matemático proposto foi implementado computacionalmente por meio do *software* X-Press (Versão 12.05), com os dados descritos conforme as descrições acima. Para melhor análise dos resultados foi gerada uma tabela contendo os principais indicadores da modelagem e gráficos de atendimento à demanda. A tabela 4.10 fornece um resumo inicial dos resultados.

TABELA 4.10 – Resumo inicial dos resultados

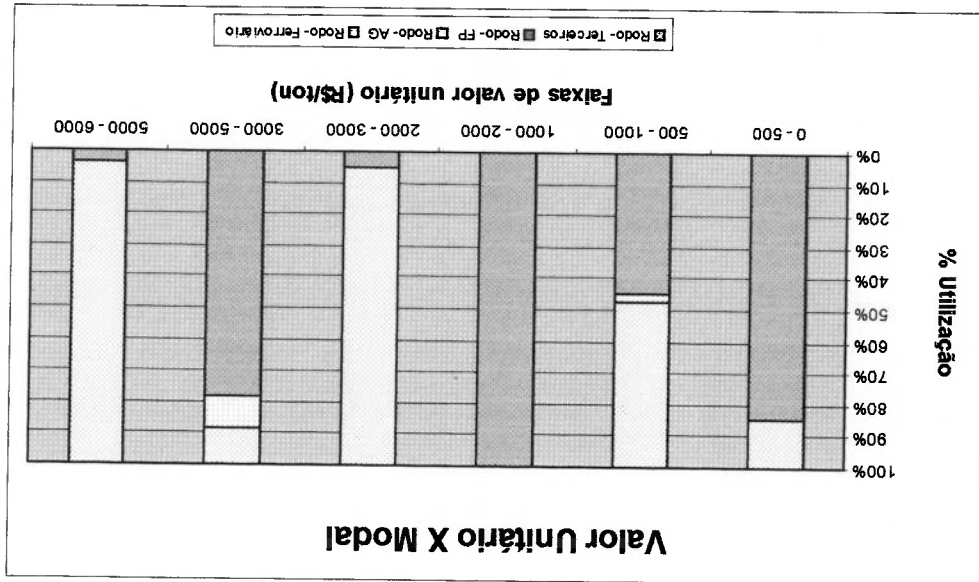
| | |
|--|---------------|
| Lucro Operacional (R\$) | 35.854.989,00 |
| Torre Investimentos Total (R\$) | 10.000.000,00 |
| Torre Investimentos Utilizada (R\$) | 2.000.000,00 |

A função objetivo totalizou um lucro operacional de R\$ 35.854.989,00. O orçamento disponível para investimentos foi apenas parcialmente utilizado. Em seguida, serão analisados os dados das restrições para melhores conclusões. Será apresentada inicialmente a tabela 4.11 com o resumo dos resultados referentes às principais restrições e a tabela 4.12 com os resultados das demandas atendidas.

TABELA 4.11 – Painel de resumo dos resultados do cenário-base

| Parâmetro | Disponível | Atendido/Utilizado | % |
|--|------------|--------------------|------|
| Demanda (t/dia) | | | |
| Resumo trens | | | |
| N Trens | 15 | 5 | 33% |
| Lotação Média Trens (t) | 60650 | 21737 | 36% |
| Lotação do trem mais utilizado no trecho crítico | - | - | 100% |
| Comprimento do trem mais utilizado no trecho crítico | - | - | 65% |
| Capacidade em número de trens/dia | - | - | 100% |
| Capacidade Transbordo Rodo-Ferro (t/dia) | 13050 | 2541 | 19% |
| Pátio mais utilizado | - | - | 64% |
| Capacidade Pátios Ferro (t/dia) | 27500 | 4561 | 17% |
| Resumo Terminais Rodoviários | | | |
| Hubs Abertos | 3 | 3 | 100% |
| Hub mais utilizado | - | - | 86% |
| Capacidade Hubs (t/dia) | 2500 | 1440 | 58% |
| Resumo Unidades de Serviço Rodoviárias | | | |
| US Abertas | 9 | 1 | 11% |
| US mais utilizada | - | - | 25% |
| Capacidade US (t/dia) | 800 | 201 | 25% |

GRÁFICO 4.1 – participação de cada modal no transporte das demandas do cenário (%)

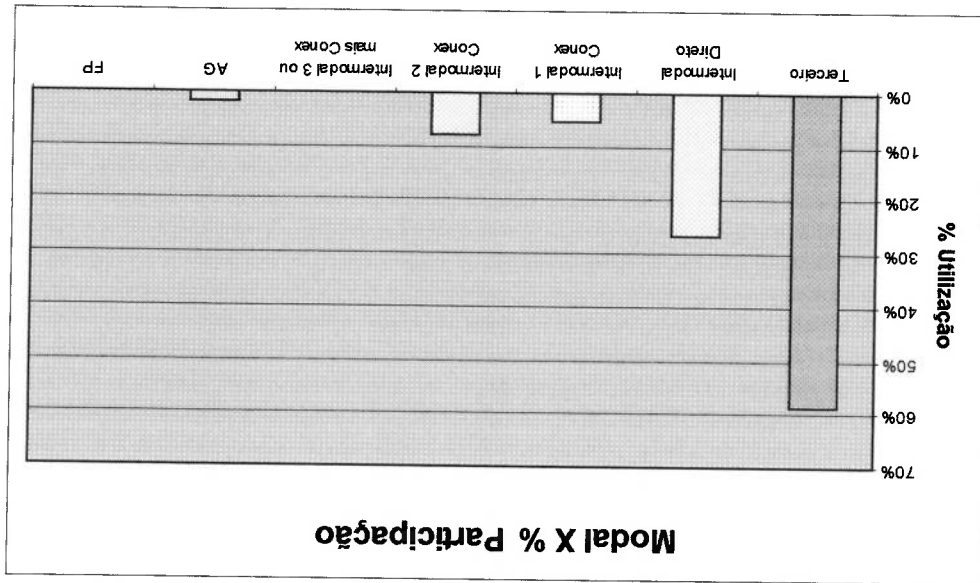


| Valor Unitário X Modal | Utilização (%) | Utilização (%) | Utilização (%) | Utilização (%) | Utilização (%) |
|------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Utilização Caminhões Frota Própria | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Utilização Cam FP Tipo 1 | 30 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Utilização Cam FP Tipo 2 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Utilização Cam FP Tipo 3 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Utilização Cam FP Tipo 4 | 100 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Total Frota Própria | 170 | 1 | 1 | 1 | >1% |
| Resumo Caminhões Agregados | 50 | 6 | 0 | 0 | 11% |
| Utilização Cam AG Tipo 1 | 50 | 6 | 0 | 0 | 11% |
| Utilização Cam AG Tipo 2 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0% |
| Utilização Cam AG Tipo 3 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0% |
| Total Agregados | 100 | 6 | 0 | 0 | 6% |
| Resumo Bimodais | 1000 | 404 | 254 | 20 | 40% |
| Utilização Bimodais Tipo 1 | 1000 | 404 | 254 | 20 | 40% |
| Utilização Bimodais Tipo 2 | 500 | 254 | 20 | 0 | 51% |
| Utilização Bimodais Tipo 3 | 100 | 20 | 0 | 0 | 25% |
| Total Bimodais | 1600 | 758 | 254 | 20 | 47% |
| Resumo Locomotivas | 10 | 10 | 13 | 6 | 100% |
| Utilização Locomotivas Tipo 1 | 10 | 10 | 13 | 6 | 100% |
| Utilização Locomotivas Tipo 2 | 14 | 13 | 6 | 0 | 93% |
| Utilização Locomotivas Tipo 3 | 6 | 6 | 0 | 0 | 100% |
| Utilização Locomotivas Tipo 4 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0% |
| Total Locomotivas | 36 | 29 | 19 | 6 | 81% |
| Resumo Vagões | 500 | 306 | 0 | 8 | 61% |
| Utilização Vagões Tipo 1 | 500 | 306 | 0 | 8 | 61% |
| Utilização Vagões Tipo 2 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0% |
| Utilização Vagões Tipo 3 | 300 | 131 | 0 | 8 | 44% |
| Utilização Vagões Tipo 4 | 100 | 8 | 0 | 0 | 8% |
| Utilização Vagões Tipo 5 | 200 | 93 | 0 | 0 | 46% |
| Total Vagões | 1150 | 538 | 0 | 8 | 47% |

| Demanda | Grupo Serviço | Quantidade Atendida | Quantidade Pedida |
|---------|---------------|---------------------|-------------------|
| 1 | 1 | 1 | 20 |
| 4 | 83 | 1520 | 1520 |
| 5 | 94 | 27 | 102 |
| 5 | 96 | 75 | 102 |
| 8 | 122 | 60 | 60 |
| 9 | 129 | 260 | 260 |
| 11 | 165 | 240 | 240 |
| 12 | 184 | 36 | 36 |
| 13 | 219 | 50 | 50 |
| 14 | 220 | 20 | 31 |
| 14 | 254 | 11 | 31 |
| 16 | 273 | 20 | 20 |
| 17 | 292 | 25 | 30 |
| 18 | 296 | 7 | 160 |
| 18 | 300 | 33 | 160 |
| 18 | 307 | 27 | 160 |
| 18 | 312 | 93 | 160 |
| 19 | 329 | 39 | 39 |
| 21 | 360 | 88 | 88 |
| 22 | 361 | 240 | 400 |
| 22 | 375 | 160 | 400 |
| 23 | 402 | 124 | 180 |
| 24 | 442 | 40 | 40 |

TABELA 4.12 – Resumo das demandas atendidas pelos grupos de serviço

GRÁFICO 4.2 – Participação de cada modal no transporte das demandas por faixa de valor unitário (%)



Abaixo, encontram-se comentários a respeito dos resultados.

| | | | |
|----|-----|-----|-----|
| 25 | 474 | 220 | 220 |
| 26 | 491 | 20 | 20 |
| 28 | 503 | 13 | 40 |
| 28 | 532 | 27 | 40 |
| 29 | 534 | 100 | 180 |
| 29 | 547 | 80 | 180 |
| 30 | 561 | 300 | 300 |
| 31 | 579 | 35 | 60 |
| 31 | 583 | 25 | 60 |
| 33 | 621 | 52 | 52 |
| 35 | 663 | 17 | 23 |
| 35 | 680 | 6 | 23 |
| 37 | 722 | 26 | 26 |
| 40 | 829 | 27 | 40 |
| 41 | 841 | 360 | 360 |
| 42 | 842 | 400 | 400 |
| 43 | 848 | 60 | 60 |
| 44 | 870 | 50 | 50 |
| 45 | 893 | 80 | 80 |
| 46 | 900 | 408 | 408 |
| 47 | 911 | 140 | 140 |
| 48 | 916 | 120 | 120 |

✓ *Capacidade dos nós:* Dos nós selecionados, nenhum esteve próximo do limite de utilização. Os *Hubs* foram os que mais estiveram próximo da capacidade operacional, sendo que um deles chegou a 86% de utilização. Os pátios ferroviários, as Unidades de Serviço e as unidades de transbordo também estiveram aquém da sua capacidade, portanto, não há indícios de que se necessite de ampliações nessas estruturas.

✓ *Capacidades dos trens e da via permanente:* Pelo menos um dos trens se apresentou no limite de capacidade em tonelada bruta. A capacidade da via permanente em termos de números de trens/dia foi também atingida em alguns trechos. Já a capacidade em termos de comprimento de trens não foi superada em nenhum caso, obtendo um máximo de 65%. Isso indica que não há necessidade de aumentar o comprimento dos pátios de cruzamento atuais, mas pode ser necessário ampliar o número de pátios para que se aumente a capacidade de tráfego em termos de trens/dia nos trechos críticos apontados. Novos cenários com alterações nessas configurações deveriam ser gerados.

✓ *Utilização dos ativos:* Não houve necessidade de utilizar toda a frota própria de caminhões e de vagões, assim como a frota de agregados, pelo contrário, o índice de utilização foi bem abaixo do limite.

✓ *Utilização de locomotivas:* O índice de utilização das locomotivas do tipo 2 (93%) verificou-se que se trata do trem direto de Tatui a Uruguaiana, que se utiliza de G22UB. Há indícios, portanto, de que esse trem possua outras demandas que, eventualmente, não foram transportadas por falta de capacidade. Um trem com mesma origem e destino e mesmas características operacionais, o trem 15, não foi selecionado. Esse trem necessita de mais 24 G22UB no sistema para ser operado. Como o orçamento para investimentos é de no máximo R\$ 10.000.000,00, não é possível comprar mais 23 locomotivas G22UB (que completariam 24 com 1 não utilizada). Um novo cenário poderia avaliar essa possibilidade. As locomotivas GT e U20C operaram com 100% de utilização, e mais 2 do tipo GT foram adquiridas.

✓ *Análise do atendimento das demandas:* As demandas de transporte foram atendidas, em 59% dos casos, por transporte rodoviário com caminhões de terceiros, o que confirma a competitividade desta modalidade. O transporte intermodal rodoviário transportou cerca de 39% da mercadoria, restando apenas 2% para o transporte por caminhões agregados. No entanto, quando se analisa o perfil das demandas atendidas pelo transporte intermodal, constata-se que as que possuem maior valor unitário (parâmetro que define o valor por tonelada da mercadoria transportada) são as que aparecem utilizando este modal. Grande parte desse atendimento se dá nos trens que não fazem conexões, ou seja, os trens diretos (gráfico 4.3). Esses trens têm pouca dispersão em torno dos tempos médios de trânsito, diferentemente do transporte por caminhão de terceiros (com a probabilidade de 0,7 para contratação). Embora os tempos de trânsito médios sejam maiores, os custos variáveis desse transporte são bastante inferiores aos dos caminhões de frota própria e agregados. Esse conjunto de fatores justifica o transporte de cargas de alto valor agregado nas ferrovias.

As tabelas 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 e 4.17 mostram os resultados das variáveis binárias e inteiras do modelo, bem como fornece maiores detalhes a respeito das restrições que podem ter sido gargalos nesse cenário, conforme os comentários acima.

TABELA 4.13 – Ns selecionados e capacidade utilizada

| Nº | Aberto/Fechado | Tipo de Nº | Capacidade | Utilizado | % Utilizado |
|----|----------------|---------------------|------------|-----------|-------------|
| 1 | 0 | Unidade de Serviço | 150 | 0 | 0% |
| 2 | 1 | Unidade de Serviço | 800 | 201 | 25% |
| 3 | 1 | Terminal Rodoviário | 1000 | 508 | 51% |
| 4 | 0 | Unidade de Serviço | 500 | 0 | 0% |
| 5 | 1 | Terminal Intermodal | 5000 | 1636 | 33% |
| 6 | 0 | Pátio Ferroviário | 5000 | 0 | 0% |
| 7 | 1 | Pátio Ferroviário | 2000 | 400 | 20% |
| 8 | 1 | Pátio Ferroviário | 500 | 320 | 64% |
| 9 | 1 | Terminal Intermodal | 5000 | 240 | 5% |
| 10 | 1 | Terminal Rodoviário | 700 | 247 | 35% |
| 11 | 0 | Pátio Ferroviário | 5000 | 0 | 0% |
| 12 | 0 | Unidade de Serviço | 200 | 0 | 0% |
| 13 | 1 | Terminal Intermodal | 5000 | 888 | 18% |
| 14 | 0 | Unidade de Serviço | 150 | 0 | 0% |
| 15 | 1 | Terminal Rodoviário | 800 | 685 | 86% |
| 16 | 0 | Unidade de Serviço | 450 | 0 | 0% |
| 17 | 0 | Unidade de Serviço | 150 | 0 | 0% |
| 18 | 0 | Pátio Ferroviário | 5000 | 0 | 0% |
| 19 | 0 | Pátio Ferroviário | 5000 | 0 | 0% |
| 20 | 0 | Pátio Ferroviário | 500 | 0 | 0% |
| 21 | 1 | Terminal Intermodal | 5000 | 817 | 16% |
| 22 | 1 | Pátio Ferroviário | 5000 | 260 | 5% |
| 23 | 0 | Unidade de Serviço | 150 | 0 | 0% |
| 24 | 0 | Unidade de Serviço | 150 | 0 | 0% |

TABELA 4.14 – Tipo de transbordo rodoviário selecionado

| Nº | Tipo de Transbordo | Aberto/Fechado |
|----|--------------------|----------------|
| 5 | 1 | 1 |
| 5 | 2 | 1 |
| 5 | 3 | 1 |
| 5 | 4 | 1 |
| 9 | 1 | 0 |
| 9 | 2 | 0 |
| 9 | 3 | 1 |
| 9 | 4 | 1 |
| 13 | 1 | 1 |

| | | |
|----|---|---|
| 13 | 2 | 1 |
| 13 | 3 | 1 |
| 13 | 4 | 1 |
| 21 | 1 | 1 |
| 21 | 2 | 0 |
| 21 | 3 | 1 |
| 21 | 4 | 1 |

TABELA 4.15 – Trens selecionados e capacidade utilizada em TB

| COD TREM | CAPACIDADE TB | SELECIONADO | UTILIZADO TB | % Utiliz |
|----------|---------------|-------------|--------------|----------|
| 1 | 1500 | 1 | 396 | 26% |
| 1 | 2200 | 1 | 396 | 18% |
| 1 | 2200 | 1 | 811 | 37% |
| 1 | 1500 | 1 | 1371 | 91% |
| 2 | 2250 | 0 | 0 | 0% |
| 2 | 3000 | 0 | 0 | 0% |
| 2 | 3000 | 0 | 0 | 0% |
| 2 | 2250 | 0 | 0 | 0% |
| 3 | 1500 | 0 | 0 | 0% |
| 3 | 1500 | 0 | 0 | 0% |
| 3 | 1500 | 0 | 0 | 0% |
| 3 | 1500 | 0 | 0 | 0% |
| 4 | 900 | 1 | 480 | 53% |
| 4 | 900 | 1 | 160 | 18% |
| 5 | 5700 | 1 | 526 | 9% |
| 5 | 5700 | 1 | 513 | 9% |
| 5 | 5700 | 1 | 1121 | 20% |
| 5 | 5700 | 1 | 881 | 15% |
| 6 | 5700 | 0 | 0 | 0% |
| 6 | 5700 | 0 | 0 | 0% |
| 6 | 5700 | 0 | 0 | 0% |
| 6 | 5700 | 0 | 0 | 0% |
| 7 | 4200 | 1 | 513 | 12% |
| 7 | 4200 | 1 | 1121 | 27% |
| 8 | 5700 | 0 | 0 | 0% |
| 8 | 5700 | 0 | 0 | 0% |
| 9 | 5700 | 0 | 0 | 0% |
| 9 | 4200 | 0 | 0 | 0% |
| 9 | 4200 | 0 | 0 | 0% |
| 9 | 5700 | 0 | 0 | 0% |
| 10 | 5100 | 0 | 0 | 0% |
| 10 | 4500 | 0 | 0 | 0% |
| 10 | 5100 | 0 | 0 | 0% |
| 11 | 5100 | 0 | 0 | 0% |
| 11 | 5100 | 0 | 0 | 0% |

TABELA 4.16 – Capacidade das sub-rotas ferroviárias em trens/dia

| SUB-ROTA | UTILIZADO | CAPACIDADE | % Utiliz |
|----------|-----------|------------|----------|
| 1 | 2 | 2 | 100% |
| 2 | 0 | 2 | 0% |
| 3 | 2 | 2 | 100% |
| 4 | 1 | 2 | 50% |
| 5 | 2 | 2 | 100% |
| 6 | 2 | 2 | 100% |
| 7 | 2 | 2 | 100% |
| 8 | 1 | 2 | 50% |
| 9 | 1 | 2 | 50% |
| 10 | 1 | 2 | 50% |
| 11 | 1 | 2 | 50% |
| 12 | 1 | 2 | 50% |
| 13 | 1 | 2 | 50% |
| 14 | 1 | 2 | 50% |
| 15 | 1 | 2 | 50% |
| 16 | 2 | 2 | 100% |
| 17 | 2 | 2 | 100% |
| 18 | 2 | 2 | 100% |
| 19 | 1 | 2 | 50% |
| 20 | 2 | 2 | 100% |
| 21 | 0 | 2 | 0% |
| 22 | 2 | 2 | 100% |

TABELA 4.17 – Aquisição de ativos

| Tipo de Ativo | Tipo | Quantidade Adquirida |
|---------------|------|----------------------|
| Locomotiva | 1 | 2 |
| Locomotiva | 2 | 0 |
| Locomotiva | 3 | 0 |
| Locomotiva | 4 | 0 |
| Vagão | 1 | 0 |
| Vagão | 2 | 0 |
| Vagão | 3 | 0 |
| Vagão | 4 | 0 |
| Vagão | 5 | 0 |
| Agredados | 1 | 0 |
| Agredados | 2 | 0 |
| Agredados | 3 | 0 |
| Frota Própria | 1 | 0 |
| Frota Própria | 2 | 0 |
| Frota Própria | 3 | 0 |
| Frota Própria | 4 | 0 |
| Bimodais | 1 | 0 |
| Bimodais | 2 | 0 |
| Bimodais | 3 | 0 |

O tempo de processamento médio do modelo foi de 170 segundos. Por se tratar de programação inteira, este tempo pode subir muito de acordo com o porte do problema.

4.7 ANÁLISES COMPLEMENTARES

O modelo proposto será agora utilizado para examinar três diferentes estratégias de atuação para que a empresa aumente seus lucros:

- ✓ Melhoria no nível de serviço ferroviário: Será examinada a sensibilidade da solução ótima pela redução gradativa dos tempos de vagão parado em conexões e da dispersão em torno do mesmo que cubra 95% dos casos numa curva normal de probabilidade.
- ✓ Aumento da probabilidade de contratação de terceiros, por meio de programa de fidelidade; serão analisados cenários com aumentos sucessivos de 5% no valor desse parâmetro.
- ✓ Redução dos custos fixos ferroviários: por meio de redução nos custos fixos (por exemplo, com projetos seis sigma), espera-se um aumento no lucro, bem como uma melhor competitividade no transporte intermodal.

Como hipótese, admitiu-se que o nível de dificuldade para se obter 1% de melhoria em qualquer dos três parâmetros mencionados é o mesmo. Em outras palavras, significa dizer que a quantidade de recursos necessários para a melhoria de 1% nesses parâmetros é a mesma nos três casos.

4.7.1 MELHORIAS NO NÍVEL DE SERVIÇO FERROVIÁRIO

O nível de serviço ferroviário pode ser melhorado simplesmente com uma boa programação de partidas e chegadas de trens. Conforme a combinação de horários, é possível reduzir bastante o tempo de permanência dos vagões nos pátios aguardando a partida dos trens.

Foram examinados cenários com mudança em dois parâmetros da modelagem: tempo médio de parada em pátios intermediários para conexão e o tempo 95%. A tabela 4.18 mostra os cenários testados, com o tempo de execução de cada cenário.

TABELA 4.18 – Cenários alternativos para nível de serviço ferro

| Cenário | TT médio por conexão (dias) | TT 95% por conexão (dias) | Tempo Execução (seg) | Lucro Operacional |
|---------|-----------------------------|---------------------------|----------------------|-------------------|
| 1 | 1,00 | 1,500 | 108 | 35.854,989 |
| 2 | 0,75 | 1,125 | 1033 | 36.009,674 |
| 3 | 0,50 | 0,750 | 299 | 36.248,174 |
| 4 | 0,25 | 0,375 | 598 | 36.414,459 |

Com base nesses resultados, foram calculados os fatores de incremento de lucro operacional, ou seja, o percentual de acréscimo do lucro operacional para cada ponto percentual de melhoria do nível de serviço. A tabela 4.19 ilustra os resultados.

TABELA 4.19 – Resultados da melhoria do nível de serviço ferroviário

| Cenário | % melhoria | % Incremento Lucro | Fator |
|---------|------------|--------------------|--------|
| 2 | 25% | 0,4% | 0,017% |
| 3 | 50% | 1,1% | 0,022% |
| 4 | 75% | 1,6% | 0,021% |

4.7.2 MELHORIAS NA PROBABILIDADE DE CONTRATAÇÃO DE TERCEIROS

Uma grande vantagem competitiva que uma empresa poderia obter seria um bom programa de fidelização de terceiros. Isso porque os fretes cobrados pelos autônomos são bem inferiores ao custo de se operar a mesma rota com a frota própria e a de agregados. As razões para esse fenômeno são bastante discutidas. Uma das hipóteses seria o fato de que os autônomos podem dirigir por mais de 24 horas seguidas, pois não se prendem a legislações trabalhistas, diferentemente dos motoristas registrados pela empresa como funcionários. Outra hipótese seria o fato de a frota de terceiros ser mais antiga e os motoristas fazerem somente manutenções corretivas, sem computar na cobrança do frete os custos de manutenção regular e depreciação do ativo.

Para análise do efeito de um programa de fidelização de terceiros, será aplicado um aumento gradativo de 5% na probabilidade de contratação, conforme a tabela 4.20.

TABELA 4.20 – Cenários alternativos para nível de serviço com terceiros

| Cenário | Probabilidade contratação | Tempo de contratação 95% (dias) | Tempo Execução (seg) | Lucro Operacional |
|---------|---------------------------|---------------------------------|----------------------|-------------------|
| 1 | 70% | 2,50 | 108 | 35.854.989,00 |
| 2 | 75% | 2,20 | 270 | 36.038.752,00 |
| 3 | 80% | 1,90 | 174 | 36.149.092,00 |
| 4 | 85% | 1,60 | 182 | 36.259.432,00 |
| 5 | 90% | 1,30 | 102 | 36.445.311,00 |

Da mesma maneira, foram analisados os fatores de incremento de lucro para o caso, cujos resultados são apresentados na tabela 4.21.

TABELA 4.21 – Resultados da melhoria do nível de serviço com terceiros

| Cenário | % melhoria no tempo contratação 95% | % Incremento Lucro | Fator |
|---------|-------------------------------------|--------------------|--------|
| 2 | 12% | 0,5% | 0,043% |
| 3 | 24% | 0,8% | 0,034% |
| 4 | 36% | 1,1% | 0,031% |
| 5 | 48% | 1,6% | 0,034% |

4.7.3 REDUÇÃO DOS CUSTOS FIXOS FERROVIÁRIOS

Conforme já comentado, os custos fixos ferroviários podem ser reduzidos sem causar prejuízo à operação ferroviária. A aplicação de novas tecnologias de comunicação e processos de gestão pode permitir o corte desses custos fixos. Da mesma maneira, como nos casos anteriores, foram examinados cenários com diferentes percentuais de redução de custos fixos, conforme a tabela 4.22.

TABELA 4.22 – Cenários com redução de custos fixos

| Cenário | Redução nos Custos Fixos | Tempo Execução (seg) | Lucro Operacional |
|---------|--------------------------|----------------------|-------------------|
| 1 | 0% | 108 | 35.854.989,00 |
| 2 | 10% | 297 | 36.544.161,00 |
| 3 | 20% | 271 | 36.923.161,00 |
| 4 | 30% | 191 | 37.302.161,00 |

A tabela 4.23 mostra os resultados obtidos.

TABELA 4.23 – Fatores de aumento de lucro para redução dos custos fixos

| Cenário | % Redução nos Custos fixos | % Incremento Lucro | Fator |
|---------|----------------------------|--------------------|--------|
| 2 | 10% | 1,9% | 0,192% |
| 3 | 20% | 3,0% | 0,149% |
| 4 | 30% | 4,0% | 0,135% |

Esta estratégia mostrou-se mais efetiva do ponto de vista do acréscimo no lucro operacional. Isso porque, com a hipótese de que o esforço para melhorar 1% nos parâmetros mencionados é o mesmo nos três casos, torna-se economicamente mais vantajoso promover um grande programa de redução dos custos fixos ferroviários, ao invés de promover um programa de fidelização de terceiros ou melhoria no nível de serviço ferroviário.

4.8 CONCLUSÕES DO ESTUDO DE CASO

Para o estudo de caso apresentado, foram analisados os gargalos atuais da operação e avaliadas estratégias de aumento do lucro operacional. A estratégia de redução de custos fixos se mostrou a mais adequada conforme os fatores de incremento apresentados e de acordo com a premissa adotada com relação ao grau de dificuldade de se melhorar os fatores nas três alternativas apresentadas. Considerando como meta uma redução de 10% nos custos fixos ferroviários, o cenário final obteria um valor de lucro operacional de R\$36.544.161,00 representando um incremento de 1,9% no valor original. Com esse cenário escolhido, pode-se concluir o fechamento de contratos com clientes seguindo os grupos de serviço selecionados.

Do ponto de vista de desempenho computacional na aplicação da modelagem, os resultados foram satisfatórios. O tempo médio de processamento dos cenários foi de 290 seg, para um modelo com cerca de 9.000 variáveis, das quais 75 delas são inteiras. Foi possível resolver problemas de grande porte mostrando a aplicabilidade do modelo na prática.

5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O objetivo deste trabalho foi explorar o problema de planejamento de serviços numa rede de transportes intermodais, buscando os modelos expostos na bibliografia e propondo um método de resolução para o mesmo.

O objetivo foi atingido, uma vez que a formulação proposta teve uma aplicação prática e seus resultados se mostraram consistentes. Além disso, a formulação proposta aprofundou os conceitos encontrados na literatura à medida que incorporou restrições e variáveis importantes para uma correta análise do problema, que pôde ser realizada de uma maneira mais completa. A formulação atende a cenários de aplicação práticos quanto à necessidade dos tipos de análise apresentados e decisões que anualmente são tomadas pelas empresas de transporte intermodal, normalmente sem qualquer subsídio técnico.

Do ponto de vista computacional, o modelo teve um bom desempenho em termos de tempo de processamento para um cenário relativamente grande, o que prova sua aplicabilidade a casos reais.

Alguns aspectos do problema não foram objetos de um estudo mais aprofundado nesse trabalho e poderiam ser tópicos para a continuidade da pesquisa. Entre eles, convém citar:

- ✓ o desenvolvimento de programas computacionais de forma a tornar o processo de geração de grupos de serviço, fluxos de vagões e bimotores vazios, automatizado;
- ✓ transformação do modelo em multiperiódico, de maneira a incorporar sazonalidades ao longo do ano;

✓ tratamento dos custos de estoques com conceitos mais apurados de *Supply Chain Management*;

✓ exame mais preciso das questões relativas a demandas de contrato e *spot*, melhorando os conceitos de tarifa de transporte na modelagem, o que daria um caráter probabilístico ao problema, porém, mais próximo da prática das empresas de transportes;

✓ análise mais abrangente das opções de investimentos, que na formulação se restringiu à aquisição de ativos, para ampliações de vias e terminais.

Face às conclusões obtidas, acredita-se que o trabalho representa uma contribuição na difícil missão que é o planejamento das redes de transporte intermodal, com decisões que podem determinar o sucesso ou o fracasso de uma empresa.

6 – BIBLIOGRAFIA

- Ackoff, R. L. – Redesigning the future: a systems approach to societal problems. New York: John Wiley – (1974).
- Anuario estatístico ANTT – 2001.
- Ballou, R.H. e Piercy, J.E. – A Performance Evaluation of Freight Transport Modes – Logistics and Transportation Review 14, n. 2 (1978): 99 – 115.
- Ballou, R.H. – Business Logistics Management: Planning, Organizing and Controlling the Supply Chain – Fourth Edition (1999): Weatherhead School of Management. Case Western Reserve University.
- T.G. Crainic and J.-M. Rousseau, "Multimode, Multicommodity Freight Transportation: A General Modeling and Algorithmic Framework for the Service Network Design," Trans. Res. 20B, 225-242 (1986).
- Crainic, T.G. e Laporte, G. - Planning models for freight transportation (European Journal of Operational Research - 1997) pages 409-438.
- Crainic, T.G., Gendreau, M. e Farvolden, J.M. – A simplex-based tabu search method for capacitated network design (1999).
- Davis, H.W. e Drumm, W.H. – Logistics Cost and Customer Service Levels (Annual Conference Proceedings – Council of Logistics Management, 1996).
- Granemann, R.. S., Gartner, I. R.- Modelo multicriterial para escolha modal/sub-modal de transporte.
- Lai, K., Ngai, E.W.T., Cheng, T.C.E. – Measures for evaluating supply chain performance in transport logistics.
- Magnanti, T.L., Wong, R.T. – Network Design and Transportation Planning: models and algorithms e por M. Minoux – Network synthesis and optimum network design problems: Models solution methods and applications.(1986).

- Murgel, L. M. de S. F. – Modelo para formação de composições ferroviárias. Dissertação de mestrado; Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia de Transportes; 1998.
- Oliveira, D. de P. R. – Planejamento Estratégico: conceitos, metodologia e práticas. 16 edição. São Paulo: Atlas, 2001.
- Stewart, G., 1995. Supply chain performance benchmarking study reveals keys supply chain excellence. Logistics Information Management.
- Taylor, G.D., Broadstreet, F., Meinert, T.S. e Usher, J.S. – An analysis of intermodal ramp selection methods (2002).
- THOMET, Michel A.. A User Oriented Freight Railroad Operating Policy; IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics; v. 1; n.4; pg. 349-356;1971.

LISTAGEM DA PROGRAMAÇÃO EM X-PRESS

ANEXO 1

ANEXO 1 – LISTAGEM DA PROGRAMAÇÃO EM X-PRESS

SET EXTSUB
LET

Dem = 48
GrServ = 916
Trem = 15
FVaz = 314
Noi = 24
Noj = 24
Vag = 5
Prop = 4
Agr = 3
Bim = 3
Loco = 4
RFerr = 4
Rout = 22
MBim = 608
ASSIGN Noi = Noj

TABLES

| | |
|-------------------------|---|
| INV | Investimento disponível para o ano |
| TAB(Dem,GrServ) | -916Identifica se o grupo de serviço g atende a demanda d |
| GSRF(GrServ) | -692Identifica se o grupo de serviço g possui rota ferroviária |
| R(Dem) | Tarifa de transporte da demanda d |
| Deq(Dem) | IDias equivalentes da demanda d |
| D(Dem) | Demanda de transporte d |
| CFL(Loco) | Custo fixo de operacao do trem t |
| CV(Dem,GrServ) | -916Custo variavel de transportar a demanda d pelo grupo de serviço g |
| CB(Dem,GrServ) | -916Custo de Estoque de se transportar a demanda d pelo grupo de serviço g |
| CVV(FVaz,Vag) | -1571Custo variavel de transportar o tipo de vagao v pelo fluxo de vazios v |
| CVP(Prop,Noi,Noj) | -1729Custo variavel de movimentar o tp caminhao AG a de i para j |
| CVA(Agr,Noi,Noj) | -1297Custo variavel de movimentar o tp caminhao AG a de i para j |
| CVT(Noi,Noj) | -433IFrete pago para caminhao de terceiros de i para j |
| CFRF(RFerr,Noi) | -10iCusto fixo de operacao de transbordo rodoferroviario do tipo RF |
| CFI(Noi) | Custo fixo de operacao do no rodoviario i |
| GOFVI(GrServ,Vag,Noi) | -692Identifica se o grupo de serviço g possui como origem ferroviaria o no i e utiliza Vagao tipo v |
| GDFVI(GrServ,Vag,Noi) | -692Identifica se o grupo de serviço g possui como destino ferroviaria o no i |
| FOF(FVaz,Noi) | -315Identifica se o fluxo de vazios f tem como origem ferroviaria o no i |
| FDF(FVaz,Noi) | -315Identifica se o fluxo de vazios f tem como destino ferroviario o no i |
| TUV(Dem,GrServ,Vag) | -692ITonelada util da demanda d no tipo de vagao v |
| GORPI(GrServ,Prop,Noi) | -340Identifica se o grupo de serviço g possui como origem rodoviaria o no i e utiliza FP tipo p |
| GDRPI(GrServ,Prop,Noi) | -340Identifica se o grupo de serviço g possui como destino rodoviario o no i e utiliza FP tipo p |
| GORAI(GrServ,Agr,Noi) | -100Identifica se o grupo de serviço g possui como origem rodoviaria o no i e utiliza AG tipo a |
| GDRAI(GrServ,Agr,Noi) | -100Identifica se o grupo de serviço g possui como destino rodoviario o no i e utiliza AG tipo a |
| TUP(Dem,Prop) | ITonelada util da demanda d no tipo de caminhao frota propria p |
| TUA(Dem,Agr) | ITonelada util da demanda d no tipo de caminhao agregado a |
| RODOU(Noi,Noj) | -440Identifica se o arco ij é um arco rodoviario |
| CAPU(Noi,Noj) | -440Identifica a capacidade anual de transporte de i para j |
| GOMI(GrServ,Bim,Noi) | -620Identifica se o grupo de serviço g possui como origem do bimodal o no i utilizando o tipo m |
| GDMI(GrServ,Bim,Noi) | -620Identifica se o grupo de serviço g possui como destino do bimodal o no i utilizando o tipo m |
| TUM(Dem,Bim) | ITonelada util da demanda d no bimodal m |
| MOFI(MBim,Noi) | -608Identifica se o fluxo de vazios bimodal b tem como origem o no i |
| MDFI(MBim,Noi) | -608Identifica se o fluxo de vazios bimodal b tem como destino o no i |
| MV(Bim,Vag) | Identifica se o bimodal m e compativel com o tipo de vagao v |
| BF(MBim,FVaz) | -270Identifica se o fluxo de vazios bimodal b contem o fluxo de vazios f |
| BPIJ(MBim,Prop,Noi,Noj) | -140Identifica se o fluxo de vazios bimodal b passa pelo arco ij utilizando frota propria p |
| BAIJ(MBim,Agr,Noi,Noj) | -140Identifica se o fluxo de vazios bimodal b passa pelo arco ij utilizando agregados a |
| TBIJ(MBim,Noi,Noj) | -280Identifica se o fluxo de vazios bimodal b passa pelo arco ij utilizando caminhoes de terceiros |

| | |
|---------------------------------|---|
| MP(Bim,Prop) | Identifica se o tipo bimodal m e compativel com tipo de caminhao FP p |
| MA(Bim,Agr) | Identifica se o tipo bimodal m e compativel com tipo de caminhao AG a |
| TTFGV(GrServ, Vag) | -e 62ITempo de transito ferroviario do grupo de servico g com o tipo de vagao v |
| TTFV(FVaz) | -e 315ITempo de transito ferroviario do fluxo de vazios f |
| TTRGP(GrServ,Prop) | -e 270ITempo de transito rodoviario do grupo de servico g com o tipo de caminhao FP p |
| TTRGA(GrServ,Prop) | -e 100ITempo de transito rodoviario do grupo de servico g com o tipo de caminhao AG a |
| TTMGM(GrServ,Bim) | -e 615ITempo de transito bimodal do grupo de servico g com o tipo de bimodal b |
| TTRV(Noi,Noj) | -e 1800ITempo de transito rodoviario de i para j |
| TTMVBim) | -e 610ITempo de transito bimodal do fluxo de vazios bimodal b |
| FV(Vag) | ITamanho da frota do tipo de vagao v |
| FP(Prop) | ITamanho da frota do tipo de caminhao FP p |
| FA(Agr) | ITamanho da frota do tipo de caminhao AG a |
| FM(Bim) | ITamanho da frota do tipo de bimodal m |
| GVRT11(GrServ, Vag, Rout, Trem) | -e 700Identifica se o grupo de servico g passa pela subrota r com o trem t utilizando o tipo de vagao v |
| GVRT12(GrServ, Vag, Rout, Trem) | -e 700Identifica se o grupo de servico g passa pela subrota r com o trem t utilizando o tipo de vagao v |
| GVRT13(GrServ, Vag, Rout, Trem) | -e 700Identifica se o grupo de servico g passa pela subrota r com o trem t utilizando o tipo de vagao v |
| GVRT14(GrServ, Vag, Rout, Trem) | -e 700Identifica se o grupo de servico g passa pela subrota r com o trem t utilizando o tipo de vagao v |
| GVRT15(GrServ, Vag, Rout, Trem) | -e 700Identifica se o grupo de servico g passa pela subrota r com o trem t utilizando o tipo de vagao v |
| GVRT11(GrServ, Vag, Rout, Trem) | -e 700Identifica se o grupo de servico g passa pela subrota r com o trem t utilizando o tipo de vagao v |
| GVRT12(GrServ, Vag, Rout, Trem) | -e 700Identifica se o grupo de servico g passa pela subrota r com o trem t utilizando o tipo de vagao v |
| GVRT13(GrServ, Vag, Rout, Trem) | -e 700Identifica se o grupo de servico g passa pela subrota r com o trem t utilizando o tipo de vagao v |
| GVRT14(GrServ, Vag, Rout, Trem) | -e 700Identifica se o grupo de servico g passa pela subrota r com o trem t utilizando o tipo de vagao v |
| GVRT15(GrServ, Vag, Rout, Trem) | -e 700Identifica se o grupo de servico g passa pela subrota r com o trem t utilizando o tipo de vagao v |
| FRT(FVaz, Rout, Trem) | -e 2000Identifica se o fluxo de vazio f passa pela subrota r com o trem t |
| TBV(Vag) | ITonelada bruta do tipo de vagao v |
| CAPRT(Trem, Rout) | -e 90ICapacidade do trem t na subrota r em toneladas bruta |
| COMPRTR(Rout) | IComprimento maximo de trem permitido na subrota r |
| NLT(Loco, Trem) | -e 90INumero de locomotivas do tipo l necessarias para o trem t |
| FL(Loco) | ITamanho da frota de locomotivas do tipo l |
| TR(Trem, Rout) | -e 90Identifica se o trem t passa pela subrota r |
| NTR(Rout) | Identifica o numero maximo de trens que podem passar pela rota r |
| GIRF(GrServ, Noi, RFert) | -e 1250Identifica se o grupo de servico g utiliza o tipo de transbordo rodoferro no no i |
| CAPRF(Noi, RFert) | -e 30ICapacidade de transbordo rodoferro do tipo de transbordo rodoferro |
| GI(GrServ, Noi) | -e 2000Identifica se o grupo de servico g passa pelo no i |
| GP(GrServ, Noi) | -e 1400Identifica se o grupo de servico g passa pelo patio ferroviario i |
| HI(Noi) | Identifica se o no i e um hub rodoviario |
| UI(Noi) | Identifica se o no i e uma US rodoviaria |
| CAP(Noi) | ICapacidade de movimentacao de carga no no i |
| CUSL(Loco) | ICusto de aquisicao de uma locomotiva do tipo l |
| CUSV(Vag) | ICusto de recuperacao de um tipo de vagao v |
| CUSP(Prop) | ICusto de aquisicao de um tipo de caminhao frota propria p |
| CUSA(Agr) | ICusto de aquisicao de um tipo de caminhao agregado a |

CUSM(Bim) iCusto de aquisicao de bimodal do tipo m

DATA

INV = 10000000

R(1)= 77, 77, 74, 53, 73, 78, 70, 44, 21, 77, &

76, 76, 77, 77, 78, 46, 44, 77, 77, &

77, 78, 78, 65, 47, 53, 31, 65, 67, 67, &

44, 71, 77, 77, 77, 77, 76, 76, 34, &

65, 19, 78, 67, 65, 30, 67, 19

Deg(1)= 250, 300, 300, 287, 223, 300, 300, 240, 300, 300, &

300, 250, 260, 300, 300, 232, 236, 300, &

236, 259, 253, 200, 250, 275, 245, 267, 247, &

240, 300, 229, 300, 289, 300, 250, 300, 200, &

283, 280, 300, 266, 290, 298, 271, 283

D(1)= 20, 0, 10, 1520, 102, 0, 0, 60, 260, 0, &

240, 36, 50, 31, 0, 20, 30, 160, 39, 0, &

88, 400, 180, 40, 220, 20, 120, 40, 180, 300, &

60, 0, 52, 0, 23, 32, 26, 30, 0, 40, &

360, 400, 60, 50, 80, 408, 140, 120

CFL(1)= 125000, 75000, 95000, 70000

CFL(1)= 150000, 150000, 1000000, 150000, 70000, 210000, 210000, 210000, 210000, 210000, &
210000, 210000, 70000, 150000, 800000, 100000, 100000, 100000, 210000, 210000, &
70000, 210000, 150000, 150000

TUP(1,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(2,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(3,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(4,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(5,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(6,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(7,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(8,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(9,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(10,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(11,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(12,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(13,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(14,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(15,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(16,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(17,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(18,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(19,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(20,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(21,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(22,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(23,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(24,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(25,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(26,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(27,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(28,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(29,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(30,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(31,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(32,1)= 27, 27, 27, 25
TUP(33,1)= 27, 27, 27, 25

TUP(34,1)=27,27,27,25
TUP(35,1)=27,27,27,25
TUP(36,1)=27,27,27,25
TUP(37,1)=27,27,27,25
TUP(38,1)=27,27,27,25
TUP(39,1)=27,27,27,25
TUP(40,1)=27,27,27,25
TUP(41,1)=27,27,27,25
TUP(42,1)=27,27,27,25
TUP(43,1)=27,27,27,25
TUP(44,1)=27,27,27,25
TUP(45,1)=27,27,27,25
TUP(46,1)=27,27,27,25
TUP(47,1)=27,27,27,25
TUP(48,1)=27,27,27,25
TUA(1,1)=27,27,27
TUA(2,1)=27,27,27
TUA(3,1)=27,27,27
TUA(4,1)=27,27,27
TUA(5,1)=27,27,27
TUA(6,1)=27,27,27
TUA(7,1)=27,27,27
TUA(8,1)=27,27,27
TUA(9,1)=27,27,27
TUA(10,1)=27,27,27
TUA(11,1)=27,27,27
TUA(12,1)=27,27,27
TUA(13,1)=27,27,27
TUA(14,1)=27,27,27
TUA(15,1)=27,27,27
TUA(16,1)=27,27,27
TUA(17,1)=27,27,27
TUA(18,1)=27,27,27
TUA(19,1)=27,27,27
TUA(20,1)=27,27,27
TUA(21,1)=27,27,27
TUA(22,1)=27,27,27
TUA(23,1)=27,27,27
TUA(24,1)=27,27,27
TUA(25,1)=27,27,27
TUA(26,1)=27,27,27
TUA(27,1)=27,27,27
TUA(28,1)=27,27,27
TUA(29,1)=27,27,27
TUA(30,1)=27,27,27
TUA(31,1)=27,27,27
TUA(32,1)=27,27,27
TUA(33,1)=27,27,27
TUA(34,1)=27,27,27
TUA(35,1)=27,27,27
TUA(36,1)=27,27,27
TUA(37,1)=27,27,27
TUA(38,1)=27,27,27
TUA(39,1)=27,27,27
TUA(40,1)=27,27,27
TUA(41,1)=27,27,27
TUA(42,1)=27,27,27
TUA(43,1)=27,27,27
TUA(44,1)=27,27,27
TUA(45,1)=27,27,27
TUA(46,1)=27,27,27

TUA(47,1)=27, 27, 27

TUM(1,1)=25, 25, 25
TUM(2,1)=25, 25, 25
TUM(3,1)=25, 25, 25
TUM(4,1)=25, 25, 25
TUM(5,1)=25, 25, 25
TUM(6,1)=25, 25, 25
TUM(7,1)=25, 25, 25
TUM(8,1)=25, 25, 25
TUM(9,1)=25, 25, 25
TUM(10,1)=25, 25, 25
TUM(11,1)=25, 25, 25
TUM(12,1)=25, 25, 25
TUM(13,1)=25, 25, 25
TUM(14,1)=25, 25, 25
TUM(15,1)=25, 25, 25
TUM(16,1)=25, 25, 25
TUM(17,1)=25, 25, 25
TUM(18,1)=25, 25, 25
TUM(19,1)=25, 25, 25
TUM(20,1)=25, 25, 25
TUM(21,1)=25, 25, 25
TUM(22,1)=25, 25, 25
TUM(23,1)=25, 25, 25
TUM(24,1)=25, 25, 25
TUM(25,1)=25, 25, 25
TUM(26,1)=25, 25, 25
TUM(27,1)=25, 25, 25
TUM(28,1)=25, 25, 25
TUM(29,1)=25, 25, 25
TUM(30,1)=25, 25, 25
TUM(31,1)=25, 25, 25
TUM(32,1)=25, 25, 25
TUM(33,1)=25, 25, 25
TUM(34,1)=25, 25, 25
TUM(35,1)=25, 25, 25
TUM(36,1)=25, 25, 25
TUM(37,1)=25, 25, 25
TUM(38,1)=25, 25, 25
TUM(39,1)=25, 25, 25
TUM(40,1)=25, 25, 25
TUM(41,1)=25, 25, 25
TUM(42,1)=25, 25, 25
TUM(43,1)=25, 25, 25
TUM(44,1)=25, 25, 25
TUM(45,1)=25, 25, 25
TUM(46,1)=25, 25, 25
TUM(47,1)=25, 25, 25
TUM(48,1)=25, 25, 25
MV(1,1)=1, 0, 0, 0
MV(2,1)=1, 0, 0, 0
MV(3,1)=0, 0, 0, 1, 0
MP(1,1)=1, 1, 0, 0
MP(2,1)=1, 1, 0, 0
MP(3,1)=0, 0, 0, 1
MA(1,1)=1, 1, 0

MA(2,1)= 1, 1, 0
MA(3,1)= 0, 0, 0

FV(1) = 500, 50, 300, 100, 200
FP(1) = 30, 20, 20, 100
FA(1) = 50, 25, 25
FM(1) = 1000, 500, 100

TBV(1) = 20, 20, 20, 20, 20

COMPRRT(1) = 35, 35, 50, 40, 90, 80, 55, 75, 70, 40, 40, 40, 40, 40, 50, 35, 35, 35

FL(1) = 10, 14, 6, 6

NTR(1) = 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2

HI(1) = 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0
UI(1) = 1, 1, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1

CAP(1) = 150, 800, 1000, 500, 5000, 2000, 500, 5000, 700, 5000, 200, 5000, 150, 800, 450, 150, 5000, 5000, 500, 5000,
CUSL(1) = 1000000, 800000, 900000, 700000
CUSV(1) = 40000, 45000, 100000, 200000, 120000
CUSP(1) = 70000, 60000, 110000, 30000
CUSA(1) = 50000, 40000, 80000
CUSM(1) = 400, 500, 20000

DISKDATA

CVP = CVP.dat

CVA = CVA.dat

CVT = CVT.dat

TAB = TAB.dat

GSF = GSF.dat

CV = CV.dat

CE = CE.dat

GOFVI = GOFVI.dat

GDFVI = GDFVI.dat

FOFI = FOFI.dat

FDFI = FDFI.dat

CERF = CERF.dat

GORPI = GORPI.dat

GDRPI = GDRPI.dat

GORAI = GORAI.dat

GDRAI = GDRAI.dat

GVRT1 = GVRT1.dat

GVRT2 = GVRT2.dat

GVRT3 = GVRT3.dat

GVRT4 = GVRT4.dat

GVRT5 = GVRT5.dat

GVRT6 = GVRT6.dat

GVRT7 = GVRT7.dat

GVRT8 = GVRT8.dat

GVRT9 = GVRT9.dat

GVRT10 = GVRT10.dat

GVRT11 = GVRT11.dat

GVRT12 = GVRT12.dat

GVRT13 = GVRT13.dat

GVRT14 = GVRT14.dat
 GVRT15 = GVRT15.dat
 RODOII = RODOII.dat
 CAPII = CAPII.dat
 GOMI = GOMI.dat
 GDMI = GDMI.dat
 MOFI = MOFI.dat
 MDFI = MDFI.dat
 BF = BF.dat
 BPII = BPII.dat
 BAII = BAII.dat
 TBIJ = TBIJ.dat
 TTFGV = TTFGV.dat
 TTFV = TTFV.dat
 TTRGP = TTRGP.dat
 TTRGA = TTRGA.dat
 TTMGM = TTMGM.dat
 TTRV = TTRV.dat
 TTMV = TTMV.dat
 TUV = TUV.dat
 FRT = FRT.dat
 CAPRT = CAPRT.dat
 NL.T = NL.T.dat
 TR = TR.dat
 GIRF = GIRF.dat
 CAPRF = CAPRF.dat
 GI = GI.dat
 GP = GP.dat

VARIABLES

X(d=1:Dem,g=1:GrServ | TAB(d,g)=1);Quantidade de demanda d transportada pelo grupo de servico g
 T(Trem) !Decide se o trem t sera operado ou nao
 V(FVaz,Vag) !Quantidade de vagoes vazios transportados pelo fluxo de vazios f
 VMV(MBim,Bim) !Quantidade de bimodais vazios transportados pelo fluxo de bimodais b
 PII(Prop,Noi,Noj) !Quantidade de caminhoes frota propria vazios transportados de i para j
 AII(Agr,Noi,Noj) !Quantidade de caminhoes agregados vazios transportados de i para j
 TIJ(Noi,Noj) !Quantidade de terceiros contratados para transporte de bimodais vazios de i para j
 RFI(RF=1:RFerr,j=1:Noi | CAPRF(i,RF)>0) !Decide se mantem operando o transbordo rodoferroviario RF no no i
 Y(Noi) !Decide se mantem aberto o no i
 L(Loco) !Numero de locomotivas adquiridas no periodo
 VG(Vag) !Numero de vagoes adquiridos no periodo
 AG(Agr) !Numero de caminhoes agregados adquiridos no periodo
 PR(Prop) !Numero de caminhoes frota propria adquiridos no periodo
 MD(Bim) !Numero de bimodais adquiridos no periodo

CONSTRAINTS

!Funcao Objetivo: Maximizar lucro
 LUCRO: SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ | TAB(d,g)=1)(R(d)-CV(d,g)-CE(d,g))*Deq(d)*X(d,g) &
 - SUM(i=1:Trem,j=1:FVaz)CVV(f,v)*300*VFV(f,v) &
 - SUM(p=1:Prop,j=1:Noi,j=1:Noj)CVP(p,i,j)*300*PII(p,i,j) &
 - SUM(a=1:Agr,j=1:Noi,j=1:Noj)CVA(a,i,j)*300*AIJ(a,i,j) &
 - SUM(i=1:Noi,j=1:Noj)CVT(i,j)*300*TIJ(i,j) &
 - SUM(RF=1:RFerr,j=1:Noi)CFRF(RF,i,j)*RFI(RF,i,j) &
 - SUM(i=1:Noi)CFI(i)*Y(i) &

```

- SUM(I=1:Loco)CUSL(I)*L(I)&
- SUM(V=1:Vaz)CUSV(V)*VG(V)&
- SUM(P=1:Frop)CUSP(P)*PR(P) &
- SUM(A=1:Agr)CUSA(A)*AG(A) &
- SUM(M=1:Bim)CUSM(M)*MD(M) $

```

```

BMV(I=1:Noi,V=1:Vaz): SUM(D=1:Dem,G=1:GrServ|TUV(d,g,v)>1.and.TAB(d,g)=1)X(d,g)*GOFV(I,g,v,I)/TUV(d,g,v) &
+ SUM(F=1:FVaz,VFV(F,v)*FOFI(F,v) &
- SUM(D=1:Dem,G=1:GrServ|TUV(d,g,v)>1.and.TAB(d,g)=1)X(d,g)*GDFV(I,g,v,I)/TUV(d,g,v) &
- SUM(F=1:FVaz,VFV(F,v)*FDFI(F,v) = 0

```

```

!Balanço de massa caminhões FP
BMP(I=1:Noi,P=1:Frop): SUM(D=1:Dem,G=1:GrServ|TAB(d,g)=1.and.GORP(I,g,p,I)>>GDRP(I,g,p,I)
+ SUM(G=1:Noj|<<I)PII(p,i,j) &
- SUM(D=1:Dem,G=1:GrServ|TAB(d,g)=1)X(d,g)*GDRP(I,g,p,I)/TUP(d,p)
- SUM(G=1:Noj|<<I)PII(p,i,j) = 0

```

```

!Balanço de massa caminhões AG
BMA(I=1:Noi,A=1:Agr): SUM(D=1:Dem,G=1:GrServ|TAB(d,g)=1)X(d,g)*GORAI(g,a,I)/TUA(d,a) &
+ SUM(G=1:Noj|<<I)AIJ(a,i,j) &
- SUM(D=1:Dem,G=1:GrServ|TAB(d,g)=1)X(d,g)*GDRAI(g,a,I)/TUA(d,a) &
- SUM(G=1:Noj|<<I)AIJ(a,i,j) = 0

```

```

!Balanço de massa unidades bimodais
BMM(I=1:Noi,M=1:Bim): SUM(D=1:Dem,G=1:GrServ|TAB(d,g)=1)X(d,g)*GOMI(g,m,I)/TUM(d,m) &
+ SUM(B=1:MBim)VMV(B,m)*MOFI(B,i) &
- SUM(D=1:Dem,G=1:GrServ|TAB(d,g)=1)X(d,g)*GDMI(g,m,I)/TUM(d,m) &
- SUM(B=1:MBim)VMV(B,m)*MDFI(B,i) = 0

```

```

!Viagens vazias de caminhões FP apenas em nos rodoviários
VRP(I=1:Noi,J=1:Noj): CAPJ(I,J)*RODOJ(I,J) > SUM(P=1:Frop)PII(p,i,j)

```

```

!Viagens vazias de caminhões AG apenas em nos rodoviários
VRA(I=1:Noi,J=1:Noj): CAPJ(I,J)*RODOJ(I,J) < SUM(A=1:Agr)AIJ(a,i,j)

```

```

!Movimentação de bimodais vazios via vagão
VBV(M=1:Bim,F=1:FVaz,V=1:Vaz): SUM(B=1:MBim)VMV(B,m)*MV(M,v)*BF(B,f) < VFV(F,v)

```

```

!Movimentação de unidades bimodais vazias via caminhão frota própria
VBP(I=1:Noi,J=1:Noj,P=1:Frop,M=1:Bim): SUM(B=1:MBim)VMV(B,m)*MP(M,p)*BPII(B,p,i,j) - PII(p,i,j) > 0

```

```

!Movimentação de unidades bimodais vazias via caminhão agregado
VBA(I=1:Noi,J=1:Noj,A=1:Agr,M=1:Bim): SUM(B=1:MBim)VMV(B,m)*MA(M,a)*BAII(B,a,i,j) - AII(a,i,j) > 0

```

```

!Movimentação de unidades bimodais vazias via caminhão terceiros
VBT(I=1:Noi,J=1:Noj,M=1:Bim): SUM(B=1:MBim)VMV(B,m)*TBII(B,i,j) - TII(i,j) > 0

```

```

!Atendimento não superior a demanda
ATD(D=1:Dem): SUM(G=1:GrServ)X(d,g) > D(D)

```

!Frota de vagões

```

FVG(v)=1:Vag): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ|TUV(d,g,v)>1.and.TAB(d,g)=1X(d,g)*TTFGV(g,v)/TUV(d,g,v) +
SUM(f=1:FVaz,VFV(f,v)*TFFV(f) &
FV(v) + VG(v)
IFrota propria de caminhoes
FFP(p)=1:Frop): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ)X(d,g)*TTRGF(g,p)/TUP(d,p) + SUM(i=1:Noi,j=1:Noj)PIJ(p,i,j)*TTRV(i,j) &
> FFP(p) + PR(p)
IFrota agregada de caminhoes
FAG(a)=1:Agr): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ)X(d,g)*TTRGA(g,a)/TUA(d,a) + SUM(i=1:Noi,j=1:Noj)AIJ(a,i,j)*TTRV(i,j) &
> FA(a) + AG(a)
IFrota de bimodais
FBM(m)=1:Bim): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ)X(d,g)*TTRGM(g,m)/TUM(d,m) + SUM(b=1:MBim)VMV(b,m)*TTRV(b)
> FM(m) + MD(m)

```

!Capacidade do trem 1

```

CPT1(f=1:Fout,t=1:1): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ,v=1:Vag|TUV(d,g,v)>1.and.
TAB(d,g)=1)X(d,g)*(GVRT1(g,v,r,t)/TUV(d,g,v))*(TUV(d,g,v)+TBV(v)) &
+ SUM(f=1:FVaz,v=1:Vag)VFV(f,v)*FRT(f,r,t)*TBV(v) > CAPRT(r,t)*T(i)

```

!Capacidade do trem 2

```

CPT2(f=1:Fout,t=2:2): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ,v=1:Vag|TUV(d,g,v)>1.and.
TAB(d,g)=1)X(d,g)*(GVRT2(g,v,r,t)/TUV(d,g,v))*(TUV(d,g,v)+TBV(v)) &
+ SUM(f=1:FVaz,v=1:Vag)VFV(f,v)*FRT(f,r,t)*TBV(v) > CAPRT(r,t)*T(i)

```

!Capacidade do trem 3

```

CPT3(f=1:Fout,t=3:3): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ,v=1:Vag|TUV(d,g,v)>1.and.
TAB(d,g)=1)X(d,g)*(GVRT3(g,v,r,t)/TUV(d,g,v))*(TUV(d,g,v)+TBV(v)) &
+ SUM(f=1:FVaz,v=1:Vag)VFV(f,v)*FRT(f,r,t)*TBV(v) > CAPRT(r,t)*T(i)

```

!Capacidade do trem 4

```

CPT4(f=1:Fout,t=4:4): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ,v=1:Vag|TUV(d,g,v)>1.and.
TAB(d,g)=1)X(d,g)*(GVRT4(g,v,r,t)/TUV(d,g,v))*(TUV(d,g,v)+TBV(v)) &
+ SUM(f=1:FVaz,v=1:Vag)VFV(f,v)*FRT(f,r,t)*TBV(v) > CAPRT(r,t)*T(i)

```

!Capacidade do trem 5

```

CPT5(f=1:Fout,t=5:5): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ,v=1:Vag|TUV(d,g,v)>1.and.
TAB(d,g)=1)X(d,g)*(GVRT5(g,v,r,t)/TUV(d,g,v))*(TUV(d,g,v)+TBV(v)) &
+ SUM(f=1:FVaz,v=1:Vag)VFV(f,v)*FRT(f,r,t)*TBV(v) > CAPRT(r,t)*T(i)

```

!Capacidade do trem 6

```

CPT6(f=1:Fout,t=6:6): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ,v=1:Vag|TUV(d,g,v)>1.and.
TAB(d,g)=1)X(d,g)*(GVRT6(g,v,r,t)/TUV(d,g,v))*(TUV(d,g,v)+TBV(v)) &
+ SUM(f=1:FVaz,v=1:Vag)VFV(f,v)*FRT(f,r,t)*TBV(v) > CAPRT(r,t)*T(i)

```

!Capacidade do trem 7

```

CPT7(f=1:Fout,t=7:7): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ,v=1:Vag|TUV(d,g,v)>1.and.
TAB(d,g)=1)X(d,g)*(GVRT7(g,v,r,t)/TUV(d,g,v))*(TUV(d,g,v)+TBV(v)) &
+ SUM(f=1:FVaz,v=1:Vag)VFV(f,v)*FRT(f,r,t)*TBV(v) > CAPRT(r,t)*T(i)

```

!Capacidade do trem 8

CPT8(r=1:Rout,f=8:8): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ,v=1:Vag|TUV(d,g,v)>1.and
TAB(d,g)=1)X(d,g)*(GVRT8(g,v,r,t)/TUV(d,g,v))+TBV(v)) &
+ SUM(f=1:FVaz,v=1:Vag)VfV(f,v)*FRT(f,r,t)*TBV(v) > CAPRT(r)*T(i)

iCapacidade do trem 9

CPT9(r=1:Rout,f=9:9): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ,v=1:Vag|TUV(d,g,v)>1.and
TAB(d,g)=1)X(d,g)*(GVRT9(g,v,r,t)/TUV(d,g,v))+TBV(v)) &
+ SUM(f=1:FVaz,v=1:Vag)VfV(f,v)*FRT(f,r,t)*TBV(v) > CAPRT(r)*T(i)

iCapacidade do trem 10

CPT10(r=1:Rout,f=10:10): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ,v=1:Vag|TUV(d,g,v)>1.and
TAB(d,g)=1)X(d,g)*(GVRT10(g,v,r,t)/TUV(d,g,v))+TBV(v)) &
+ SUM(f=1:FVaz,v=1:Vag)VfV(f,v)*FRT(f,r,t)*TBV(v) > CAPRT(r)*T(i)

iCapacidade do trem 11

CPT11(r=1:Rout,f=11:11): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ,v=1:Vag|TUV(d,g,v)>1.and
TAB(d,g)=1)X(d,g)*(GVRT11(g,v,r,t)/TUV(d,g,v))+TBV(v)) &
+ SUM(f=1:FVaz,v=1:Vag)VfV(f,v)*FRT(f,r,t)*TBV(v) > CAPRT(r)*T(i)

iCapacidade do trem 12

CPT12(r=1:Rout,f=12:12): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ,v=1:Vag|TUV(d,g,v)>1.and
TAB(d,g)=1)X(d,g)*(GVRT12(g,v,r,t)/TUV(d,g,v))+TBV(v)) &
+ SUM(f=1:FVaz,v=1:Vag)VfV(f,v)*FRT(f,r,t)*TBV(v) > CAPRT(r)*T(i)

iCapacidade do trem 13

CPT13(r=1:Rout,f=13:13): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ,v=1:Vag|TUV(d,g,v)>1.and
TAB(d,g)=1)X(d,g)*(GVRT13(g,v,r,t)/TUV(d,g,v))+TBV(v)) &
+ SUM(f=1:FVaz,v=1:Vag)VfV(f,v)*FRT(f,r,t)*TBV(v) > CAPRT(r)*T(i)

iCapacidade do trem 14

CPT14(r=1:Rout,f=14:14): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ,v=1:Vag|TUV(d,g,v)>1.and
TAB(d,g)=1)X(d,g)*(GVRT14(g,v,r,t)/TUV(d,g,v))+TBV(v)) &
+ SUM(f=1:FVaz,v=1:Vag)VfV(f,v)*FRT(f,r,t)*TBV(v) > CAPRT(r)*T(i)

iCapacidade do trem 15

CPT15(r=1:Rout,f=15:15): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ,v=1:Vag|TUV(d,g,v)>1.and
TAB(d,g)=1)X(d,g)*(GVRT15(g,v,r,t)/TUV(d,g,v))+TBV(v)) &
+ SUM(f=1:FVaz,v=1:Vag)VfV(f,v)*FRT(f,r,t)*TBV(v) > CAPRT(r)*T(i)

iCapacidade do trem 1

CMT1(r=1:Rout,f=1:1): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ,v=1:Vag|TUV(d,g,v)>1.and
TAB(d,g)=1)X(d,g)*(GVRT1(g,v,r,t)/TUV(d,g,v)) &
+ SUM(f=1:FVaz,v=1:Vag)VfV(f,v)*FRT(f,r,t) > COMPRT(r)*T(i)

iCapacidade do trem 2

CMT2(r=1:Rout,f=2:2): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ,v=1:Vag|TUV(d,g,v)>1.and
TAB(d,g)=1)X(d,g)*(GVRT2(g,v,r,t)/TUV(d,g,v)) &
+ SUM(f=1:FVaz,v=1:Vag)VfV(f,v)*FRT(f,r,t) > COMPRT(r)*T(i)

iCapacidade do trem 3


```

CMT3(r=1:Rout,t=3:3): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ,v=1:Vag|TUV(d,g,v)>1.and.
TAB(d,g)=1)X(d,g)*(GVRT3(g,v,r,t)/TUV(d,g,v)) &
+ SUM(f=1:FVaz,v=1:Vag)VfV(f,v)*FRT(f,r,t) > COMPRT(r)*T(t)
iComprimto do trem 4

CMT4(r=1:Rout,t=4:4): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ,v=1:Vag|TUV(d,g,v)>1.and.
TAB(d,g)=1)X(d,g)*(GVRT4(g,v,r,t)/TUV(d,g,v)) &
+ SUM(f=1:FVaz,v=1:Vag)VfV(f,v)*FRT(f,r,t) > COMPRT(r)*T(t)
iComprimto do trem 5

CMT5(r=1:Rout,t=5:5): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ,v=1:Vag|TUV(d,g,v)>1.and.
TAB(d,g)=1)X(d,g)*(GVRT5(g,v,r,t)/TUV(d,g,v)) &
+ SUM(f=1:FVaz,v=1:Vag)VfV(f,v)*FRT(f,r,t) > COMPRT(r)*T(t)
iComprimto do trem 6

CMT6(r=1:Rout,t=6:6): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ,v=1:Vag|TUV(d,g,v)>1.and.
TAB(d,g)=1)X(d,g)*(GVRT6(g,v,r,t)/TUV(d,g,v)) &
+ SUM(f=1:FVaz,v=1:Vag)VfV(f,v)*FRT(f,r,t) > COMPRT(r)*T(t)
iComprimto do trem 7

CMT7(r=1:Rout,t=7:7): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ,v=1:Vag|TUV(d,g,v)>1.and.
TAB(d,g)=1)X(d,g)*(GVRT7(g,v,r,t)/TUV(d,g,v)) &
+ SUM(f=1:FVaz,v=1:Vag)VfV(f,v)*FRT(f,r,t) > COMPRT(r)*T(t)
iComprimto do trem 8

CMT8(r=1:Rout,t=8:8): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ,v=1:Vag|TUV(d,g,v)>1.and.
TAB(d,g)=1)X(d,g)*(GVRT8(g,v,r,t)/TUV(d,g,v)) &
+ SUM(f=1:FVaz,v=1:Vag)VfV(f,v)*FRT(f,r,t) > COMPRT(r)*T(t)
iComprimto do trem 9

CMT9(r=1:Rout,t=9:9): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ,v=1:Vag|TUV(d,g,v)>1.and.
TAB(d,g)=1)X(d,g)*(GVRT9(g,v,r,t)/TUV(d,g,v)) &
+ SUM(f=1:FVaz,v=1:Vag)VfV(f,v)*FRT(f,r,t) > COMPRT(r)*T(t)
iComprimto do trem 10

CMT10(r=1:Rout,t=10:10): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ,v=1:Vag|TUV(d,g,v)>1.and.
TAB(d,g)=1)X(d,g)*(GVRT10(g,v,r,t)/TUV(d,g,v)) &
+ SUM(f=1:FVaz,v=1:Vag)VfV(f,v)*FRT(f,r,t) > COMPRT(r)*T(t)
iComprimto do trem 11

CMT11(r=1:Rout,t=11:11): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ,v=1:Vag|TUV(d,g,v)>1.and.
TAB(d,g)=1)X(d,g)*(GVRT11(g,v,r,t)/TUV(d,g,v)) &
+ SUM(f=1:FVaz,v=1:Vag)VfV(f,v)*FRT(f,r,t) > COMPRT(r)*T(t)
iComprimto do trem 12

CMT12(r=1:Rout,t=12:12): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ,v=1:Vag|TUV(d,g,v)>1.and.
TAB(d,g)=1)X(d,g)*(GVRT12(g,v,r,t)/TUV(d,g,v)) &
+ SUM(f=1:FVaz,v=1:Vag)VfV(f,v)*FRT(f,r,t) > COMPRT(r)*T(t)
iComprimto do trem 13

CMT13(r=1:Rout,t=13:13): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ,v=1:Vag|TUV(d,g,v)>1.and.
TAB(d,g)=1)X(d,g)*(GVRT13(g,v,r,t)/TUV(d,g,v)) &

```

```

+ SUM(f=1:FVaz,v=1:Vag)VfV(f,v)*FRT(f,r,t) > COMPRT(t)*T(t)
!Comprimento do trem 14
CMT14(r=1:Rout,t=14:14): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ,v=1:Vag|TUV(d,g,v)>1.and
TAB(d,g)=1)X(d,g)*(GVRT14(g,v,r,t)/TUV(d,g,v)) &
+ SUM(f=1:FVaz,v=1:Vag)VfV(f,v)*FRT(f,r,t) > COMPRT(t)*T(t)
!Comprimento do trem 15
CMT15(r=1:Rout,t=15:15): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ,v=1:Vag|TUV(d,g,v)>1.and
TAB(d,g)=1)X(d,g)*(GVRT15(g,v,r,t)/TUV(d,g,v)) &
+ SUM(f=1:FVaz,v=1:Vag)VfV(f,v)*FRT(f,r,t) > COMPRT(t)*T(t)
!Frota de Locomotivas
FLC(l=1:Loco): SUM(t=1:Trem)T(t)*NLT(l,t) > FL(l) + L(l)
!Numero maximo de trens no trecho
NMT(r=1:Rout): SUM(t=1:Trem)T(t)*TR(t,r) > NTR(r)
!Capacidade de transbordo rodo-ferroviaria
CRF(i=1:Noi,rF=1:RFerr): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ)X(d,g)*GIRF(g,i,rF) > RFI(rF,i)*CAPRF(i,rF)
!Capacidade dos hubs rodoviaros
CHU(i=1:Noi): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ)X(d,g)*GI(g,i)*HI(i) > CAPI(i)*Y(i)
!Capacidade das US's rodoviaras
CUS(i=1:Noi): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ)X(d,g)*GI(g,i)*UI(i) > CAPI(i)*Y(i)
!Capacidade dos patios ferroviarios
CPP(i=1:Noi): SUM(d=1:Dem,g=1:GrServ)X(d,g)*GP(g,i) > CAPI(i)*Y(i)
!Restricao de orcamento anual
ORA: SUM(l=1:Loco)CUSL(l)*LI + SUM(v=1:Vag)CUSV(v)*VG(v) + SUM(p=1:Ftop)CUSP(p)*PR(p) +
SUM(a=1:Agr)CUSA(a)*AG(a) + SUM(m=1:Bim)CUSM(m)*MD(m) > INV
BOUNDS
T(t=1:Trem).BV.
RFI(rF=1:RFerr,i=1:Noi).BV.
Y(i=1:Noi).BV.
PII(p=1:Ftop,i=1:Noi,j=1:Noj).UI.
PII(a=1:Agr,i=1:Noi,j=1:Noj).UI.
LI(l=1:Loco).UI.
VG(v=1:Vag).UI.
AG(a=1:Agr).UI.
PR(p=1:Ftop).UI.
MD(m=1:Bim).UI.
END

```

ANEXO 2
GRUPOS DE SERVIÇO E FLUXO DE VAGÕES E BIMODAIS
VAZIOS PARA ESTUDO DE CASO

FLUXOS DE VAGÕES VAZIOS

Roteiros Ferroviários

| Fvaz | Orig | Dst | R1 | T | R2 | T | R3 | T | R4 | T | R5 | T | R6 | T | R7 | T | R8 | T | R9 | T |
|------|------|-----|----|---|----|---|----|---|----|---|----|---|----|---|----|---|----|---|----|---|
| 1 | 5 | 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 5 | 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 5 | 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 5 | 7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 5 | 7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 5 | 7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 5 | 8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 5 | 8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 5 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 5 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 5 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 5 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 5 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 5 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 5 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 5 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 5 | 13 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 5 | 13 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 5 | 13 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 5 | 13 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | 5 | 13 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | 5 | 13 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | 5 | 13 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | 5 | 13 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 5 | 19 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | 5 | 19 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 27 | 5 | 19 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 28 | 5 | 19 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 29 | 5 | 19 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 5 | 19 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 31 | 5 | 19 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 32 | 5 | 19 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 33 | 5 | 19 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 34 | 5 | 19 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 35 | 5 | 19 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 36 | 5 | 19 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 37 | 5 | 19 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 38 | 5 | 19 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 39 | 5 | 19 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40 | 5 | 19 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 41 | 5 | 19 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 42 | 5 | 19 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 43 | 5 | 20 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 44 | 5 | 20 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 45 | 5 | 20 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 46 | 5 | 20 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 47 | 5 | 20 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 48 | 5 | 20 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 49 | 5 | 20 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

FLUXOS DE VAZÕES VAZIOS

Rotéis Ferrovários

| Fvaz | On | Dst | R1 | T | R2 | T | R3 | T | R4 | T | R5 | T | R6 | T | R7 | T | R8 | T | R9 | T |
|------|----|-----|----|---|----|---|----|---|----|----|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 50 | 5 | 20 | 1 | 2 | 3 | 2 | 5 | 5 | 6 | 5 | 5 | 7 | 8 | 11 | 9 | 12 | 10 | 12 | 0 | 0 |
| 51 | 5 | 20 | 1 | 1 | 3 | 1 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 8 | 11 | 9 | 12 | 10 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| 52 | 5 | 20 | 1 | 2 | 3 | 2 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 8 | 11 | 9 | 12 | 10 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| 53 | 5 | 20 | 1 | 1 | 3 | 1 | 5 | 5 | 6 | 6 | 7 | 8 | 10 | 9 | 10 | 10 | 13 | 0 | 0 | 0 |
| 54 | 5 | 20 | 1 | 2 | 3 | 2 | 5 | 5 | 6 | 6 | 7 | 8 | 10 | 9 | 10 | 10 | 13 | 0 | 0 | 0 |
| 55 | 5 | 20 | 1 | 1 | 3 | 1 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 8 | 10 | 9 | 10 | 10 | 13 | 0 | 0 | 0 |
| 56 | 5 | 20 | 1 | 2 | 3 | 2 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 8 | 10 | 9 | 10 | 10 | 13 | 0 | 0 | 0 |
| 57 | 5 | 20 | 1 | 1 | 3 | 1 | 5 | 5 | 6 | 6 | 7 | 8 | 11 | 9 | 12 | 10 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| 58 | 5 | 20 | 1 | 2 | 3 | 2 | 5 | 5 | 6 | 6 | 7 | 8 | 11 | 9 | 12 | 10 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| 59 | 5 | 20 | 1 | 1 | 3 | 1 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 8 | 11 | 9 | 12 | 10 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| 60 | 5 | 20 | 1 | 2 | 3 | 2 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 8 | 11 | 9 | 12 | 10 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| 61 | 5 | 21 | 1 | 1 | 14 | 1 | 5 | 6 | 6 | 14 | 7 | 8 | 14 | 9 | 14 | 10 | 14 | 11 | 14 | 14 |
| 62 | 5 | 21 | 1 | 1 | 15 | 1 | 5 | 6 | 6 | 15 | 7 | 8 | 15 | 9 | 15 | 10 | 15 | 11 | 15 | 15 |
| 63 | 5 | 21 | 1 | 1 | 3 | 1 | 5 | 5 | 6 | 5 | 7 | 8 | 10 | 9 | 10 | 10 | 13 | 11 | 13 | 13 |
| 64 | 5 | 21 | 1 | 2 | 3 | 2 | 5 | 5 | 6 | 5 | 7 | 8 | 10 | 9 | 10 | 10 | 13 | 11 | 13 | 13 |
| 65 | 5 | 21 | 1 | 1 | 3 | 1 | 5 | 6 | 6 | 5 | 7 | 8 | 10 | 9 | 10 | 10 | 13 | 11 | 13 | 13 |
| 66 | 5 | 21 | 1 | 2 | 3 | 2 | 5 | 6 | 6 | 5 | 7 | 8 | 10 | 9 | 10 | 10 | 13 | 11 | 13 | 13 |
| 67 | 5 | 21 | 1 | 1 | 3 | 1 | 5 | 5 | 6 | 5 | 7 | 8 | 11 | 9 | 12 | 10 | 12 | 11 | 12 | 12 |
| 68 | 5 | 21 | 1 | 2 | 3 | 2 | 5 | 5 | 6 | 5 | 7 | 8 | 11 | 9 | 12 | 10 | 12 | 11 | 12 | 12 |
| 69 | 5 | 21 | 1 | 1 | 3 | 1 | 5 | 6 | 6 | 5 | 7 | 8 | 11 | 9 | 12 | 10 | 12 | 11 | 12 | 12 |
| 70 | 5 | 21 | 1 | 2 | 3 | 2 | 5 | 6 | 6 | 5 | 7 | 8 | 11 | 9 | 12 | 10 | 12 | 11 | 12 | 12 |
| 71 | 5 | 21 | 1 | 1 | 3 | 1 | 5 | 5 | 6 | 5 | 7 | 8 | 10 | 9 | 10 | 10 | 13 | 11 | 13 | 13 |
| 72 | 5 | 21 | 1 | 2 | 3 | 2 | 5 | 6 | 6 | 5 | 7 | 8 | 10 | 9 | 10 | 10 | 13 | 11 | 13 | 13 |
| 73 | 5 | 21 | 1 | 1 | 3 | 1 | 5 | 6 | 6 | 5 | 7 | 8 | 10 | 9 | 10 | 10 | 13 | 11 | 13 | 13 |
| 74 | 5 | 21 | 1 | 2 | 3 | 2 | 5 | 6 | 6 | 5 | 7 | 8 | 10 | 9 | 10 | 10 | 13 | 11 | 13 | 13 |
| 75 | 5 | 21 | 1 | 1 | 3 | 1 | 5 | 5 | 6 | 5 | 7 | 8 | 11 | 9 | 12 | 10 | 12 | 11 | 12 | 12 |
| 76 | 5 | 21 | 1 | 2 | 3 | 2 | 5 | 6 | 6 | 5 | 7 | 8 | 11 | 9 | 12 | 10 | 12 | 11 | 12 | 12 |
| 77 | 5 | 21 | 1 | 1 | 3 | 1 | 5 | 6 | 6 | 5 | 7 | 8 | 11 | 9 | 12 | 10 | 12 | 11 | 12 | 12 |
| 78 | 5 | 21 | 1 | 2 | 3 | 2 | 5 | 6 | 6 | 5 | 7 | 8 | 11 | 9 | 12 | 10 | 12 | 11 | 12 | 12 |
| 79 | 9 | 5 | 18 | 5 | 20 | 1 | 22 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 80 | 9 | 5 | 18 | 5 | 20 | 2 | 22 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 81 | 9 | 5 | 18 | 6 | 20 | 1 | 22 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 82 | 9 | 5 | 18 | 6 | 20 | 2 | 22 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 83 | 9 | 5 | 18 | 8 | 20 | 1 | 22 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 84 | 9 | 5 | 18 | 8 | 20 | 2 | 22 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 85 | 9 | 6 | 18 | 5 | 20 | 1 | 21 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 86 | 9 | 6 | 18 | 5 | 20 | 2 | 21 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 87 | 9 | 6 | 18 | 6 | 20 | 1 | 21 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 88 | 9 | 6 | 18 | 6 | 20 | 2 | 21 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 89 | 9 | 6 | 18 | 8 | 20 | 1 | 21 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 90 | 9 | 6 | 18 | 8 | 20 | 2 | 21 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 91 | 9 | 7 | 18 | 5 | 20 | 1 | 20 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 92 | 9 | 7 | 18 | 5 | 20 | 2 | 20 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 93 | 9 | 7 | 18 | 6 | 20 | 1 | 20 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 94 | 9 | 7 | 18 | 6 | 20 | 2 | 20 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 95 | 9 | 7 | 18 | 8 | 20 | 1 | 20 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 96 | 9 | 7 | 18 | 8 | 20 | 2 | 20 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 97 | 9 | 9 | 18 | 7 | 18 | 1 | 22 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 98 | 9 | 9 | 18 | 7 | 18 | 2 | 22 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

FLUXOS DE VAZÕES VAZIOS

Roteiros Ferroviários

| Fvaz | On | Dist | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 | R9 | T |
|------|----|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| 99 | 9 | 8 | 18 | 8 | 19 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 9 | 13 | 6 | 6 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 101 | 9 | 13 | 6 | 5 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 102 | 9 | 13 | 6 | 9 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 103 | 9 | 13 | 6 | 14 | 7 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 104 | 9 | 13 | 6 | 15 | 7 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 105 | 9 | 19 | 6 | 6 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 106 | 9 | 19 | 6 | 5 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 107 | 9 | 19 | 6 | 9 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 108 | 9 | 19 | 6 | 6 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 109 | 9 | 19 | 6 | 5 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 110 | 9 | 19 | 6 | 9 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 111 | 9 | 19 | 6 | 14 | 7 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 112 | 9 | 19 | 6 | 15 | 7 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 113 | 9 | 20 | 6 | 6 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 114 | 9 | 20 | 6 | 5 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 115 | 9 | 20 | 6 | 9 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 116 | 9 | 20 | 6 | 6 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 117 | 9 | 20 | 6 | 5 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 118 | 9 | 20 | 6 | 9 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 119 | 9 | 20 | 6 | 14 | 7 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 120 | 9 | 20 | 6 | 15 | 7 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 121 | 9 | 21 | 6 | 6 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 122 | 9 | 21 | 6 | 5 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 123 | 9 | 21 | 6 | 9 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 124 | 9 | 21 | 6 | 6 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 125 | 9 | 21 | 6 | 5 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 126 | 9 | 21 | 6 | 9 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 127 | 9 | 21 | 6 | 14 | 7 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 128 | 9 | 21 | 6 | 15 | 7 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 129 | 13 | 5 | 16 | 7 | 17 | 17 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 130 | 13 | 5 | 16 | 7 | 17 | 17 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 131 | 13 | 5 | 16 | 6 | 18 | 18 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 132 | 13 | 5 | 16 | 7 | 17 | 17 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 133 | 13 | 5 | 16 | 9 | 17 | 17 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 134 | 13 | 5 | 16 | 9 | 17 | 17 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 135 | 13 | 5 | 16 | 9 | 17 | 17 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 136 | 13 | 5 | 16 | 9 | 17 | 17 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 137 | 13 | 5 | 16 | 9 | 17 | 17 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 138 | 13 | 5 | 16 | 9 | 17 | 17 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 139 | 13 | 5 | 16 | 14 | 17 | 17 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 140 | 13 | 5 | 16 | 15 | 17 | 17 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 141 | 13 | 6 | 16 | 7 | 17 | 17 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 142 | 13 | 6 | 16 | 7 | 17 | 17 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 143 | 13 | 6 | 16 | 7 | 17 | 17 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 144 | 13 | 6 | 16 | 7 | 17 | 17 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 145 | 13 | 6 | 16 | 9 | 17 | 17 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 146 | 13 | 6 | 16 | 9 | 17 | 17 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 147 | 13 | 6 | 16 | 9 | 17 | 17 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

FLUXOS DE VAGÕES VAZIOS

Roteiros Ferroviários

| Fvaz | On | Dst | R1 | T | R2 | T | R3 | T | R4 | T | R5 | T | R6 | T | R7 | T | R8 | T | R9 | T |
|------|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 148 | 13 | 6 | 16 | 9 | 17 | 9 | 18 | 6 | 20 | 2 | 21 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 149 | 13 | 6 | 16 | 9 | 17 | 9 | 18 | 5 | 20 | 1 | 21 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 150 | 13 | 6 | 16 | 9 | 17 | 9 | 18 | 5 | 20 | 2 | 21 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 151 | 13 | 6 | 16 | 6 | 17 | 14 | 18 | 14 | 20 | 14 | 21 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 152 | 13 | 6 | 16 | 6 | 17 | 15 | 18 | 15 | 20 | 15 | 21 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 153 | 13 | 7 | 16 | 7 | 17 | 6 | 18 | 6 | 20 | 1 | 21 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 154 | 13 | 7 | 16 | 7 | 17 | 5 | 18 | 5 | 20 | 1 | 21 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 155 | 13 | 7 | 16 | 7 | 17 | 6 | 18 | 6 | 20 | 2 | 21 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 156 | 13 | 7 | 16 | 7 | 17 | 5 | 18 | 5 | 20 | 2 | 21 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 157 | 13 | 7 | 16 | 7 | 17 | 9 | 18 | 8 | 20 | 1 | 21 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 158 | 13 | 7 | 16 | 9 | 17 | 9 | 18 | 8 | 20 | 2 | 21 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 159 | 13 | 7 | 16 | 9 | 17 | 9 | 18 | 8 | 20 | 2 | 21 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 160 | 13 | 7 | 16 | 9 | 17 | 9 | 18 | 6 | 20 | 1 | 21 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 161 | 13 | 7 | 16 | 9 | 17 | 9 | 18 | 5 | 20 | 1 | 21 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 162 | 13 | 7 | 16 | 9 | 17 | 9 | 18 | 5 | 20 | 2 | 21 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 163 | 13 | 7 | 16 | 14 | 17 | 14 | 18 | 14 | 20 | 14 | 21 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 164 | 13 | 7 | 16 | 15 | 17 | 15 | 18 | 15 | 20 | 15 | 21 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 165 | 13 | 8 | 16 | 7 | 17 | 6 | 18 | 6 | 19 | 4 | 20 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 166 | 13 | 8 | 16 | 7 | 17 | 5 | 18 | 5 | 19 | 4 | 20 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 167 | 13 | 8 | 16 | 9 | 17 | 9 | 18 | 8 | 19 | 4 | 20 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 168 | 13 | 8 | 16 | 9 | 17 | 9 | 18 | 6 | 19 | 4 | 20 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 169 | 13 | 8 | 16 | 9 | 17 | 9 | 18 | 5 | 19 | 4 | 20 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 170 | 13 | 8 | 16 | 14 | 17 | 14 | 18 | 14 | 19 | 4 | 20 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 171 | 13 | 8 | 16 | 15 | 17 | 15 | 18 | 15 | 19 | 4 | 20 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 172 | 13 | 9 | 16 | 7 | 17 | 6 | 17 | 5 | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 173 | 13 | 9 | 16 | 7 | 17 | 9 | 17 | 5 | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 174 | 13 | 9 | 16 | 9 | 17 | 9 | 17 | 5 | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 175 | 13 | 9 | 16 | 14 | 17 | 14 | 17 | 14 | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 176 | 13 | 9 | 16 | 15 | 17 | 15 | 17 | 15 | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 177 | 13 | 19 | 19 | 8 | 10 | 9 | 11 | 9 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 178 | 13 | 19 | 19 | 8 | 10 | 9 | 11 | 9 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 179 | 13 | 19 | 19 | 8 | 14 | 9 | 14 | 9 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 180 | 13 | 19 | 19 | 8 | 15 | 9 | 15 | 9 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 181 | 13 | 20 | 20 | 8 | 10 | 9 | 10 | 9 | 10 | 10 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 182 | 13 | 20 | 20 | 8 | 11 | 9 | 11 | 9 | 12 | 10 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 183 | 13 | 20 | 20 | 8 | 15 | 9 | 15 | 9 | 15 | 10 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 184 | 13 | 20 | 20 | 8 | 14 | 9 | 14 | 9 | 14 | 10 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 185 | 13 | 21 | 21 | 8 | 10 | 9 | 10 | 9 | 10 | 10 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 186 | 13 | 21 | 21 | 8 | 11 | 9 | 11 | 9 | 12 | 10 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 187 | 13 | 21 | 21 | 8 | 14 | 9 | 14 | 9 | 14 | 10 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 188 | 13 | 21 | 21 | 8 | 15 | 9 | 15 | 9 | 15 | 10 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 189 | 13 | 21 | 21 | 8 | 10 | 9 | 10 | 9 | 10 | 10 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 190 | 13 | 21 | 21 | 8 | 11 | 9 | 11 | 9 | 12 | 10 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 191 | 13 | 21 | 21 | 8 | 14 | 9 | 14 | 9 | 14 | 10 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 192 | 13 | 21 | 21 | 8 | 15 | 9 | 15 | 9 | 15 | 10 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 193 | 21 | 5 | 12 | 14 | 13 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 194 | 21 | 5 | 12 | 15 | 13 | 15 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 195 | 21 | 5 | 12 | 15 | 13 | 15 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 196 | 21 | 5 | 12 | 15 | 13 | 15 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |

FLUXOS DE VAZÕES VAZIOS

Roteiros Ferroviários

| FVaz | Orig | Det | R1 | T | R2 | T | R3 | T | R4 | T | R5 | T | R6 | T | R7 | T | R8 | T | R9 | T |
|------|------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| 197 | 21 | 5 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 12 | 15 | 11 | 16 | 7 | 17 | 5 | 18 | 5 | 20 | 2 | 22 | 2 |
| 198 | 21 | 5 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 12 | 15 | 11 | 16 | 7 | 17 | 6 | 18 | 6 | 20 | 2 | 22 | 2 |
| 199 | 21 | 5 | 12 | 12 | 13 | 12 | 13 | 12 | 13 | 13 | 18 | 9 | 17 | 9 | 18 | 8 | 20 | 1 | 22 | 1 |
| 200 | 21 | 5 | 12 | 12 | 13 | 12 | 13 | 12 | 13 | 13 | 18 | 9 | 17 | 9 | 18 | 8 | 20 | 1 | 22 | 1 |
| 201 | 21 | 5 | 12 | 12 | 13 | 12 | 13 | 12 | 13 | 13 | 18 | 9 | 17 | 6 | 18 | 5 | 20 | 1 | 22 | 1 |
| 202 | 21 | 5 | 12 | 12 | 13 | 12 | 13 | 12 | 13 | 13 | 18 | 9 | 17 | 6 | 18 | 6 | 20 | 1 | 22 | 1 |
| 203 | 21 | 5 | 12 | 12 | 13 | 12 | 13 | 12 | 13 | 13 | 18 | 9 | 17 | 5 | 18 | 5 | 20 | 1 | 22 | 1 |
| 204 | 21 | 5 | 12 | 12 | 13 | 12 | 13 | 12 | 13 | 13 | 18 | 9 | 17 | 6 | 18 | 6 | 20 | 2 | 22 | 2 |
| 205 | 21 | 5 | 12 | 12 | 13 | 12 | 13 | 12 | 13 | 13 | 18 | 9 | 17 | 6 | 18 | 8 | 20 | 1 | 22 | 1 |
| 206 | 21 | 5 | 12 | 12 | 13 | 12 | 13 | 12 | 13 | 13 | 18 | 9 | 17 | 9 | 18 | 8 | 20 | 1 | 22 | 1 |
| 207 | 21 | 6 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 14 | 15 | 14 | 16 | 14 | 17 | 14 | 18 | 8 | 20 | 2 | 22 | 2 |
| 208 | 21 | 6 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 14 | 15 | 14 | 16 | 14 | 17 | 15 | 18 | 14 | 20 | 14 | 21 | 3 |
| 209 | 21 | 6 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 12 | 15 | 11 | 16 | 7 | 17 | 5 | 18 | 5 | 20 | 1 | 21 | 3 |
| 210 | 21 | 6 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 12 | 15 | 11 | 16 | 7 | 17 | 6 | 18 | 6 | 20 | 1 | 21 | 3 |
| 211 | 21 | 6 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 12 | 15 | 11 | 16 | 7 | 17 | 5 | 18 | 5 | 20 | 2 | 21 | 3 |
| 212 | 21 | 6 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 12 | 15 | 11 | 16 | 7 | 17 | 6 | 18 | 6 | 20 | 2 | 21 | 3 |
| 213 | 21 | 6 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 12 | 15 | 11 | 16 | 9 | 17 | 9 | 18 | 8 | 20 | 1 | 21 | 3 |
| 214 | 21 | 6 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 12 | 15 | 11 | 16 | 9 | 17 | 9 | 18 | 8 | 20 | 2 | 21 | 3 |
| 215 | 21 | 6 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 10 | 15 | 10 | 16 | 7 | 17 | 5 | 18 | 5 | 20 | 1 | 21 | 3 |
| 216 | 21 | 6 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 10 | 15 | 10 | 16 | 7 | 17 | 6 | 18 | 6 | 20 | 1 | 21 | 3 |
| 217 | 21 | 6 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 10 | 15 | 10 | 16 | 7 | 17 | 5 | 18 | 5 | 20 | 2 | 21 | 3 |
| 218 | 21 | 6 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 10 | 15 | 10 | 16 | 7 | 17 | 6 | 18 | 6 | 20 | 2 | 21 | 3 |
| 219 | 21 | 6 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 10 | 15 | 10 | 16 | 9 | 17 | 9 | 18 | 8 | 20 | 1 | 21 | 3 |
| 220 | 21 | 6 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 10 | 15 | 10 | 16 | 9 | 17 | 9 | 18 | 8 | 20 | 2 | 21 | 3 |
| 221 | 21 | 7 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 14 | 15 | 14 | 16 | 14 | 17 | 14 | 18 | 14 | 20 | 14 | 0 | 0 |
| 222 | 21 | 7 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 14 | 15 | 14 | 16 | 15 | 17 | 15 | 18 | 15 | 20 | 15 | 0 | 0 |
| 223 | 21 | 7 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 12 | 15 | 11 | 16 | 7 | 17 | 5 | 18 | 5 | 20 | 1 | 0 | 0 |
| 224 | 21 | 7 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 12 | 15 | 11 | 16 | 7 | 17 | 6 | 18 | 6 | 20 | 1 | 0 | 0 |
| 225 | 21 | 7 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 12 | 15 | 11 | 16 | 7 | 17 | 5 | 18 | 5 | 20 | 2 | 0 | 0 |
| 226 | 21 | 7 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 12 | 15 | 11 | 16 | 7 | 17 | 6 | 18 | 6 | 20 | 2 | 0 | 0 |
| 227 | 21 | 7 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 12 | 15 | 11 | 16 | 9 | 17 | 9 | 18 | 8 | 20 | 1 | 0 | 0 |
| 228 | 21 | 7 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 12 | 15 | 11 | 16 | 9 | 17 | 9 | 18 | 8 | 20 | 2 | 0 | 0 |
| 229 | 21 | 7 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 10 | 15 | 10 | 16 | 7 | 17 | 5 | 18 | 5 | 20 | 1 | 0 | 0 |
| 230 | 21 | 7 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 10 | 15 | 10 | 16 | 7 | 17 | 6 | 18 | 6 | 20 | 1 | 0 | 0 |
| 231 | 21 | 7 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 10 | 15 | 10 | 16 | 7 | 17 | 5 | 18 | 5 | 20 | 2 | 0 | 0 |
| 232 | 21 | 7 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 10 | 15 | 10 | 16 | 7 | 17 | 6 | 18 | 6 | 20 | 2 | 0 | 0 |
| 233 | 21 | 7 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 10 | 15 | 10 | 16 | 9 | 17 | 9 | 18 | 8 | 20 | 1 | 0 | 0 |
| 234 | 21 | 7 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 10 | 15 | 10 | 16 | 9 | 17 | 9 | 18 | 8 | 20 | 2 | 0 | 0 |
| 235 | 21 | 8 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 14 | 15 | 14 | 16 | 14 | 17 | 14 | 18 | 14 | 19 | 4 | 0 | 0 |
| 236 | 21 | 8 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 14 | 15 | 14 | 16 | 15 | 17 | 15 | 18 | 15 | 19 | 4 | 0 | 0 |
| 237 | 21 | 8 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 12 | 15 | 11 | 16 | 7 | 17 | 5 | 18 | 5 | 19 | 4 | 0 | 0 |
| 238 | 21 | 8 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 12 | 15 | 11 | 16 | 7 | 17 | 6 | 18 | 6 | 19 | 4 | 0 | 0 |
| 239 | 21 | 8 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 12 | 15 | 11 | 16 | 9 | 17 | 9 | 18 | 8 | 19 | 4 | 0 | 0 |
| 240 | 21 | 8 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 10 | 15 | 10 | 16 | 7 | 17 | 5 | 18 | 5 | 19 | 4 | 0 | 0 |
| 241 | 21 | 8 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 10 | 15 | 10 | 16 | 7 | 17 | 6 | 18 | 6 | 19 | 4 | 0 | 0 |
| 242 | 21 | 8 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 10 | 15 | 10 | 16 | 9 | 17 | 9 | 18 | 8 | 19 | 4 | 0 | 0 |
| 243 | 21 | 9 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 14 | 15 | 14 | 16 | 14 | 17 | 14 | 18 | 14 | 19 | 4 | 0 | 0 |
| 244 | 21 | 9 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 14 | 15 | 14 | 16 | 15 | 17 | 15 | 18 | 15 | 19 | 4 | 0 | 0 |
| 245 | 21 | 9 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 14 | 15 | 14 | 16 | 15 | 17 | 15 | 18 | 15 | 19 | 4 | 0 | 0 |

FLUXOS DE VAGÕES VAZIOS

Rotatórios Ferroviários

| F'vaz | Off | Dst | R1 | T | R2 | T | R3 | T | R4 | T | R5 | T | R6 | T | R7 | T | R8 | T | R9 | T |
|-------|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|---|----|---|
| 246 | 9 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 12 | 14 | 12 | 15 | 11 | 16 | 7 | 17 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 247 | 21 | 9 | 12 | 13 | 13 | 13 | 12 | 14 | 12 | 15 | 11 | 16 | 9 | 17 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 248 | 21 | 9 | 12 | 13 | 13 | 13 | 14 | 14 | 10 | 15 | 10 | 16 | 7 | 17 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 249 | 21 | 9 | 12 | 13 | 13 | 13 | 14 | 14 | 10 | 15 | 10 | 16 | 7 | 17 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 250 | 21 | 9 | 12 | 13 | 13 | 13 | 14 | 14 | 10 | 15 | 10 | 16 | 9 | 17 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 251 | 21 | 13 | 12 | 14 | 13 | 14 | 14 | 14 | 10 | 15 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 252 | 21 | 13 | 12 | 15 | 13 | 14 | 14 | 14 | 10 | 15 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 253 | 21 | 13 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 12 | 15 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 254 | 21 | 13 | 12 | 13 | 13 | 13 | 14 | 10 | 15 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 255 | 21 | 19 | 12 | 14 | 13 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 256 | 21 | 19 | 12 | 15 | 13 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 257 | 21 | 19 | 12 | 12 | 13 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 258 | 21 | 19 | 12 | 12 | 13 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 259 | 21 | 20 | 12 | 14 | 13 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 260 | 21 | 20 | 12 | 15 | 14 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 261 | 21 | 20 | 12 | 12 | 13 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 262 | 21 | 20 | 12 | 13 | 13 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 263 | 22 | 5 | 20 | 14 | 22 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 264 | 22 | 5 | 20 | 15 | 22 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 265 | 22 | 5 | 20 | 1 | 22 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 266 | 22 | 5 | 20 | 2 | 22 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 267 | 22 | 6 | 20 | 14 | 21 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 268 | 22 | 6 | 20 | 15 | 21 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 269 | 22 | 6 | 20 | 1 | 21 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 270 | 22 | 6 | 20 | 2 | 21 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 271 | 22 | 7 | 20 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 272 | 22 | 7 | 20 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 273 | 22 | 7 | 20 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 274 | 22 | 7 | 20 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 275 | 22 | 8 | 19 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 276 | 22 | 9 | 5 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 277 | 22 | 9 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 278 | 22 | 9 | 5 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 279 | 22 | 13 | 5 | 14 | 6 | 14 | 7 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 280 | 22 | 13 | 5 | 15 | 6 | 15 | 7 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 281 | 22 | 13 | 5 | 5 | 6 | 5 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 282 | 22 | 13 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 283 | 22 | 13 | 5 | 5 | 6 | 5 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 284 | 22 | 13 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 285 | 22 | 19 | 5 | 14 | 6 | 14 | 7 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 286 | 22 | 19 | 5 | 15 | 6 | 15 | 7 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 287 | 22 | 19 | 5 | 5 | 6 | 5 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 288 | 22 | 19 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 289 | 22 | 19 | 5 | 5 | 6 | 5 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 290 | 22 | 19 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 291 | 22 | 19 | 5 | 5 | 6 | 5 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 292 | 22 | 19 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 293 | 22 | 19 | 5 | 5 | 6 | 5 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 294 | 22 | 19 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

FLUXOS DE VAGÕES VAZIOS

Roteiros Ferroviários

| Fvaz | Orig | Dest | R1 | T | R2 | T | R3 | T | R4 | T | R5 | T | R6 | T | R7 | T | R8 | T | R9 | T |
|------|------|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|---|
| 295 | 22 | 20 | 5 | 14 | 6 | 14 | 7 | 14 | 8 | 14 | 9 | 14 | 10 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 296 | 22 | 20 | 5 | 15 | 6 | 15 | 7 | 15 | 8 | 15 | 9 | 15 | 10 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 297 | 22 | 20 | 5 | 5 | 6 | 5 | 7 | 7 | 8 | 10 | 9 | 10 | 10 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 298 | 22 | 20 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 8 | 10 | 9 | 10 | 10 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 299 | 22 | 20 | 5 | 5 | 6 | 5 | 7 | 7 | 8 | 11 | 9 | 12 | 10 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 300 | 22 | 20 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 8 | 11 | 9 | 12 | 10 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 301 | 22 | 20 | 5 | 5 | 6 | 5 | 7 | 9 | 8 | 10 | 9 | 10 | 10 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 302 | 22 | 20 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 9 | 8 | 10 | 9 | 10 | 10 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 303 | 22 | 20 | 5 | 5 | 6 | 5 | 7 | 9 | 8 | 11 | 9 | 12 | 10 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 304 | 22 | 20 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 9 | 8 | 11 | 9 | 12 | 10 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 305 | 22 | 21 | 5 | 14 | 6 | 14 | 7 | 14 | 8 | 14 | 9 | 14 | 10 | 14 | 11 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 306 | 22 | 21 | 5 | 15 | 6 | 15 | 7 | 15 | 8 | 15 | 9 | 15 | 10 | 15 | 11 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 307 | 22 | 21 | 5 | 5 | 6 | 5 | 7 | 7 | 8 | 10 | 9 | 10 | 10 | 13 | 11 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 308 | 22 | 21 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 8 | 10 | 9 | 10 | 10 | 13 | 11 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 309 | 22 | 21 | 5 | 5 | 6 | 5 | 7 | 7 | 8 | 11 | 9 | 12 | 10 | 12 | 11 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 310 | 22 | 21 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 8 | 11 | 9 | 12 | 10 | 12 | 11 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 311 | 22 | 21 | 5 | 5 | 6 | 5 | 7 | 9 | 8 | 10 | 9 | 10 | 10 | 13 | 11 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 312 | 22 | 21 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 9 | 8 | 10 | 9 | 10 | 10 | 13 | 11 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 313 | 22 | 21 | 5 | 5 | 6 | 5 | 7 | 9 | 8 | 11 | 9 | 12 | 10 | 12 | 11 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 314 | 22 | 21 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 9 | 8 | 11 | 9 | 12 | 10 | 12 | 11 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 |

FLUXO DE BIMODAIS VAZIOS

| COD | ORIGEM | DESTINO | M BIM | Rodoviário | a |
|-----|--------|---------|-------|------------|---|
| 1 | 1 | 2 | 2 | RODO | 0 |
| 2 | 1 | 3 | 3 | RODO | 0 |
| 3 | 1 | 4 | 4 | RODO | 0 |
| 4 | 1 | 5 | 5 | RODO | 0 |
| 5 | 1 | 23 | 23 | RODO | 0 |
| 6 | 1 | 24 | 24 | RODO | 0 |
| 7 | 2 | 1 | 1 | RODO | 0 |
| 8 | 2 | 3 | 3 | RODO | 0 |
| 9 | 2 | 4 | 4 | RODO | 0 |
| 10 | 2 | 5 | 5 | RODO | 0 |
| 11 | 2 | 23 | 23 | RODO | 0 |
| 12 | 2 | 24 | 24 | RODO | 0 |
| 13 | 3 | 1 | 1 | RODO | 0 |
| 14 | 3 | 2 | 2 | RODO | 0 |
| 15 | 3 | 4 | 4 | RODO | 0 |
| 16 | 3 | 5 | 5 | RODO | 0 |
| 17 | 3 | 23 | 23 | RODO | 0 |
| 18 | 3 | 24 | 24 | RODO | 0 |
| 19 | 4 | 1 | 1 | RODO | 0 |
| 20 | 4 | 2 | 2 | RODO | 0 |
| 21 | 4 | 3 | 3 | RODO | 0 |
| 22 | 4 | 5 | 5 | RODO | 0 |
| 23 | 4 | 23 | 23 | RODO | 0 |
| 24 | 4 | 24 | 24 | RODO | 0 |
| 25 | 5 | 1 | 1 | RODO | 0 |
| 26 | 5 | 2 | 2 | RODO | 0 |
| 27 | 5 | 3 | 3 | RODO | 0 |
| 28 | 5 | 4 | 4 | RODO | 0 |
| 29 | 5 | 23 | 23 | RODO | 0 |
| 30 | 5 | 24 | 24 | RODO | 0 |
| 31 | 23 | 1 | 1 | RODO | 0 |
| 32 | 23 | 2 | 2 | RODO | 0 |
| 33 | 23 | 3 | 3 | RODO | 0 |
| 34 | 23 | 4 | 4 | RODO | 0 |
| 35 | 23 | 5 | 5 | RODO | 0 |
| 36 | 23 | 24 | 24 | RODO | 0 |
| 37 | 24 | 1 | 1 | RODO | 0 |
| 38 | 24 | 2 | 2 | RODO | 0 |
| 39 | 24 | 3 | 3 | RODO | 0 |
| 40 | 24 | 4 | 4 | RODO | 0 |
| 41 | 24 | 5 | 5 | RODO | 0 |
| 42 | 24 | 23 | 23 | RODO | 0 |
| 43 | 9 | 10 | 10 | RODO | 0 |
| 44 | 9 | 12 | 12 | RODO | 0 |
| 45 | 10 | 10 | 9 | RODO | 0 |
| 46 | 10 | 12 | 12 | RODO | 0 |
| 47 | 12 | 12 | 9 | RODO | 0 |
| 48 | 12 | 10 | 10 | RODO | 0 |
| 49 | 13 | 14 | 14 | RODO | 0 |

FLUXO DE BIMODAIS VAZIOS

| COD | ORIGEM | DESTINO | M_BIM | Rodoviário | a |
|-----|--------|---------|-------|------------|---|
| 50 | 13 | 15 | RODO | 1 | 0 |
| 51 | 13 | 16 | RODO | 1 | 0 |
| 52 | 13 | 17 | RODO | 1 | 0 |
| 53 | 14 | 13 | RODO | 1 | 0 |
| 54 | 14 | 15 | RODO | 1 | 0 |
| 55 | 14 | 16 | RODO | 1 | 0 |
| 56 | 14 | 17 | RODO | 1 | 0 |
| 57 | 15 | 13 | RODO | 1 | 0 |
| 58 | 15 | 14 | RODO | 1 | 0 |
| 59 | 15 | 16 | RODO | 1 | 0 |
| 60 | 15 | 17 | RODO | 1 | 0 |
| 61 | 16 | 13 | RODO | 1 | 0 |
| 62 | 16 | 14 | RODO | 1 | 0 |
| 63 | 16 | 15 | RODO | 1 | 0 |
| 64 | 16 | 17 | RODO | 1 | 0 |
| 65 | 17 | 13 | RODO | 1 | 0 |
| 66 | 17 | 14 | RODO | 1 | 0 |
| 67 | 17 | 15 | RODO | 1 | 0 |
| 68 | 17 | 16 | RODO | 1 | 0 |
| 69 | 1 | 2 | RODO | 2 | 0 |
| 70 | 1 | 3 | RODO | 2 | 0 |
| 71 | 1 | 4 | RODO | 2 | 0 |
| 72 | 1 | 5 | RODO | 2 | 0 |
| 73 | 1 | 23 | RODO | 2 | 0 |
| 74 | 1 | 24 | RODO | 2 | 0 |
| 75 | 2 | 1 | RODO | 2 | 0 |
| 76 | 2 | 3 | RODO | 2 | 0 |
| 77 | 2 | 4 | RODO | 2 | 0 |
| 78 | 2 | 5 | RODO | 2 | 0 |
| 79 | 2 | 23 | RODO | 2 | 0 |
| 80 | 2 | 24 | RODO | 2 | 0 |
| 81 | 3 | 1 | RODO | 2 | 0 |
| 82 | 3 | 2 | RODO | 2 | 0 |
| 83 | 3 | 4 | RODO | 2 | 0 |
| 84 | 3 | 5 | RODO | 2 | 0 |
| 85 | 3 | 23 | RODO | 2 | 0 |
| 86 | 3 | 24 | RODO | 2 | 0 |
| 87 | 4 | 1 | RODO | 2 | 0 |
| 88 | 4 | 2 | RODO | 2 | 0 |
| 89 | 4 | 3 | RODO | 2 | 0 |
| 90 | 4 | 5 | RODO | 2 | 0 |
| 91 | 4 | 23 | RODO | 2 | 0 |
| 92 | 4 | 24 | RODO | 2 | 0 |
| 93 | 5 | 1 | RODO | 2 | 0 |
| 94 | 5 | 2 | RODO | 2 | 0 |
| 95 | 5 | 3 | RODO | 2 | 0 |
| 96 | 5 | 4 | RODO | 2 | 0 |
| 97 | 5 | 23 | RODO | 2 | 0 |
| 98 | 5 | 24 | RODO | 2 | 0 |

FLUXO DE BIMODAIS VAZIOS

Rodoviário

| COD | ORIGEM | DESTINO | M_BIM | a |
|-----|--------|---------|-------|---|
| 99 | 23 | 1 | RODO | 2 |
| 100 | 23 | 2 | RODO | 2 |
| 101 | 23 | 3 | RODO | 2 |
| 102 | 23 | 4 | RODO | 2 |
| 103 | 23 | 5 | RODO | 2 |
| 104 | 23 | 24 | RODO | 2 |
| 105 | 24 | 1 | RODO | 2 |
| 106 | 24 | 2 | RODO | 2 |
| 107 | 24 | 3 | RODO | 2 |
| 108 | 24 | 4 | RODO | 2 |
| 109 | 24 | 5 | RODO | 2 |
| 110 | 24 | 23 | RODO | 2 |
| 111 | 9 | 10 | RODO | 2 |
| 112 | 9 | 12 | RODO | 2 |
| 113 | 10 | 9 | RODO | 2 |
| 114 | 10 | 12 | RODO | 2 |
| 115 | 12 | 9 | RODO | 2 |
| 116 | 12 | 10 | RODO | 2 |
| 117 | 13 | 14 | RODO | 2 |
| 118 | 13 | 15 | RODO | 2 |
| 119 | 13 | 16 | RODO | 2 |
| 120 | 13 | 17 | RODO | 2 |
| 121 | 14 | 13 | RODO | 2 |
| 122 | 14 | 15 | RODO | 2 |
| 123 | 14 | 16 | RODO | 2 |
| 124 | 14 | 17 | RODO | 2 |
| 125 | 15 | 13 | RODO | 2 |
| 126 | 15 | 14 | RODO | 2 |
| 127 | 15 | 16 | RODO | 2 |
| 128 | 15 | 17 | RODO | 2 |
| 129 | 16 | 13 | RODO | 2 |
| 130 | 16 | 14 | RODO | 2 |
| 131 | 16 | 15 | RODO | 2 |
| 132 | 16 | 17 | RODO | 2 |
| 133 | 17 | 13 | RODO | 2 |
| 134 | 17 | 14 | RODO | 2 |
| 135 | 17 | 15 | RODO | 2 |
| 136 | 17 | 16 | RODO | 2 |
| 137 | 1 | 2 | RODO | 0 |
| 138 | 1 | 3 | RODO | 0 |
| 139 | 1 | 4 | RODO | 0 |
| 140 | 1 | 5 | RODO | 0 |
| 141 | 1 | 23 | RODO | 0 |
| 142 | 1 | 24 | RODO | 0 |
| 143 | 2 | 1 | RODO | 0 |
| 144 | 2 | 3 | RODO | 0 |
| 145 | 2 | 4 | RODO | 0 |
| 146 | 2 | 5 | RODO | 0 |
| 147 | 2 | 23 | RODO | 1 |

FLUXO DE BIMODAIS VAZIOS

Rodoviário

| COD | ORIGEM | DESTINO | M_BIM | p | a |
|-----|--------|---------|-------|---|---|
| 148 | 2 | 24 | RODO | 0 | 1 |
| 149 | 3 | 1 | RODO | 0 | 1 |
| 150 | 3 | 2 | RODO | 0 | 1 |
| 151 | 3 | 4 | RODO | 0 | 1 |
| 152 | 3 | 5 | RODO | 0 | 1 |
| 153 | 3 | 23 | RODO | 0 | 1 |
| 154 | 3 | 24 | RODO | 0 | 1 |
| 155 | 4 | 1 | RODO | 0 | 1 |
| 156 | 4 | 2 | RODO | 0 | 1 |
| 157 | 4 | 3 | RODO | 0 | 1 |
| 158 | 4 | 5 | RODO | 0 | 1 |
| 159 | 4 | 23 | RODO | 0 | 1 |
| 160 | 4 | 24 | RODO | 0 | 1 |
| 161 | 5 | 1 | RODO | 0 | 1 |
| 162 | 5 | 2 | RODO | 0 | 1 |
| 163 | 5 | 3 | RODO | 0 | 1 |
| 164 | 5 | 4 | RODO | 0 | 1 |
| 165 | 5 | 23 | RODO | 0 | 1 |
| 166 | 5 | 24 | RODO | 0 | 1 |
| 167 | 23 | 1 | RODO | 0 | 1 |
| 168 | 23 | 2 | RODO | 0 | 1 |
| 169 | 23 | 3 | RODO | 0 | 1 |
| 170 | 23 | 4 | RODO | 0 | 1 |
| 171 | 23 | 5 | RODO | 0 | 1 |
| 172 | 23 | 24 | RODO | 0 | 1 |
| 173 | 24 | 1 | RODO | 0 | 1 |
| 174 | 24 | 2 | RODO | 0 | 1 |
| 175 | 24 | 3 | RODO | 0 | 1 |
| 176 | 24 | 4 | RODO | 0 | 1 |
| 177 | 24 | 5 | RODO | 0 | 1 |
| 178 | 24 | 23 | RODO | 0 | 1 |
| 179 | 9 | 10 | RODO | 0 | 1 |
| 180 | 9 | 12 | RODO | 0 | 1 |
| 181 | 10 | 9 | RODO | 0 | 1 |
| 182 | 10 | 12 | RODO | 0 | 1 |
| 183 | 12 | 9 | RODO | 0 | 1 |
| 184 | 12 | 10 | RODO | 0 | 1 |
| 185 | 13 | 14 | RODO | 0 | 1 |
| 186 | 13 | 15 | RODO | 0 | 1 |
| 187 | 13 | 16 | RODO | 0 | 1 |
| 188 | 13 | 17 | RODO | 0 | 1 |
| 189 | 14 | 13 | RODO | 0 | 1 |
| 190 | 14 | 15 | RODO | 0 | 1 |
| 191 | 14 | 16 | RODO | 0 | 1 |
| 192 | 14 | 17 | RODO | 0 | 1 |
| 193 | 15 | 13 | RODO | 0 | 1 |
| 194 | 15 | 14 | RODO | 0 | 1 |
| 195 | 15 | 16 | RODO | 0 | 1 |
| 196 | 15 | 17 | RODO | 0 | 1 |

FLUXO DE BIMODAIS VAZIOS

Rodoviário

| COD | ORIGEM | DESTINO | M_BIM | p | a |
|-----|--------|---------|-------|---|---|
| 197 | 16 | 13 | RODO | 0 | 1 |
| 198 | 16 | 14 | RODO | 0 | 1 |
| 199 | 16 | 15 | RODO | 0 | 1 |
| 200 | 16 | 17 | RODO | 0 | 1 |
| 201 | 17 | 13 | RODO | 0 | 1 |
| 202 | 17 | 14 | RODO | 0 | 1 |
| 203 | 17 | 15 | RODO | 0 | 1 |
| 204 | 17 | 16 | RODO | 0 | 1 |
| 205 | 1 | 2 | RODO | 0 | 2 |
| 206 | 1 | 3 | RODO | 0 | 2 |
| 207 | 1 | 4 | RODO | 0 | 2 |
| 208 | 1 | 5 | RODO | 0 | 2 |
| 209 | 1 | 23 | RODO | 0 | 2 |
| 210 | 1 | 24 | RODO | 0 | 2 |
| 211 | 2 | 1 | RODO | 0 | 2 |
| 212 | 2 | 3 | RODO | 0 | 2 |
| 213 | 2 | 4 | RODO | 0 | 2 |
| 214 | 2 | 5 | RODO | 0 | 2 |
| 215 | 2 | 23 | RODO | 0 | 2 |
| 216 | 2 | 24 | RODO | 0 | 2 |
| 217 | 3 | 1 | RODO | 0 | 2 |
| 218 | 3 | 2 | RODO | 0 | 2 |
| 219 | 3 | 4 | RODO | 0 | 2 |
| 220 | 3 | 5 | RODO | 0 | 2 |
| 221 | 3 | 23 | RODO | 0 | 2 |
| 222 | 3 | 24 | RODO | 0 | 2 |
| 223 | 4 | 1 | RODO | 0 | 2 |
| 224 | 4 | 2 | RODO | 0 | 2 |
| 225 | 4 | 3 | RODO | 0 | 2 |
| 226 | 4 | 5 | RODO | 0 | 2 |
| 227 | 4 | 23 | RODO | 0 | 2 |
| 228 | 4 | 24 | RODO | 0 | 2 |
| 229 | 5 | 1 | RODO | 0 | 2 |
| 230 | 5 | 2 | RODO | 0 | 2 |
| 231 | 5 | 3 | RODO | 0 | 2 |
| 232 | 5 | 4 | RODO | 0 | 2 |
| 233 | 5 | 23 | RODO | 0 | 2 |
| 234 | 5 | 24 | RODO | 0 | 2 |
| 235 | 23 | 1 | RODO | 0 | 2 |
| 236 | 23 | 2 | RODO | 0 | 2 |
| 237 | 23 | 3 | RODO | 0 | 2 |
| 238 | 23 | 4 | RODO | 0 | 2 |
| 239 | 23 | 5 | RODO | 0 | 2 |
| 240 | 23 | 24 | RODO | 0 | 2 |
| 241 | 24 | 1 | RODO | 0 | 2 |
| 242 | 24 | 2 | RODO | 0 | 2 |
| 243 | 24 | 3 | RODO | 0 | 2 |
| 244 | 24 | 4 | RODO | 0 | 2 |
| 245 | 24 | 5 | RODO | 0 | 2 |

FLUXO DE BIMODAIS VAZIOS

| COD | ORIGEM | DESTINO | M_BIM | Rodoviário | p | a |
|-----|--------|---------|-------|------------|---|---|
| 246 | 24 | 23 | RODO | 0 | 0 | 2 |
| 247 | 9 | 10 | RODO | 0 | 0 | 2 |
| 248 | 9 | 12 | RODO | 0 | 0 | 2 |
| 249 | 10 | 9 | RODO | 0 | 0 | 2 |
| 250 | 10 | 12 | RODO | 0 | 0 | 2 |
| 251 | 12 | 9 | RODO | 0 | 0 | 2 |
| 252 | 12 | 10 | RODO | 0 | 0 | 2 |
| 253 | 13 | 14 | RODO | 0 | 0 | 2 |
| 254 | 13 | 15 | RODO | 0 | 0 | 2 |
| 255 | 13 | 16 | RODO | 0 | 0 | 2 |
| 256 | 13 | 17 | RODO | 0 | 0 | 2 |
| 257 | 14 | 13 | RODO | 0 | 0 | 2 |
| 258 | 14 | 15 | RODO | 0 | 0 | 2 |
| 259 | 14 | 16 | RODO | 0 | 0 | 2 |
| 260 | 14 | 17 | RODO | 0 | 0 | 2 |
| 261 | 15 | 13 | RODO | 0 | 0 | 2 |
| 262 | 15 | 14 | RODO | 0 | 0 | 2 |
| 263 | 15 | 16 | RODO | 0 | 0 | 2 |
| 264 | 15 | 17 | RODO | 0 | 0 | 2 |
| 265 | 16 | 13 | RODO | 0 | 0 | 2 |
| 266 | 16 | 14 | RODO | 0 | 0 | 2 |
| 267 | 16 | 15 | RODO | 0 | 0 | 2 |
| 268 | 16 | 17 | RODO | 0 | 0 | 2 |
| 269 | 17 | 13 | RODO | 0 | 0 | 2 |
| 270 | 17 | 14 | RODO | 0 | 0 | 2 |
| 271 | 17 | 15 | RODO | 0 | 0 | 2 |
| 272 | 17 | 16 | RODO | 0 | 0 | 2 |
| 273 | 1 | 2 | RODO | 0 | 0 | 0 |
| 274 | 1 | 3 | RODO | 0 | 0 | 0 |
| 275 | 1 | 4 | RODO | 0 | 0 | 0 |
| 276 | 1 | 5 | RODO | 0 | 0 | 0 |
| 277 | 1 | 23 | RODO | 0 | 0 | 0 |
| 278 | 1 | 24 | RODO | 0 | 0 | 0 |
| 279 | 2 | 1 | RODO | 0 | 0 | 0 |
| 280 | 2 | 3 | RODO | 0 | 0 | 0 |
| 281 | 2 | 4 | RODO | 0 | 0 | 0 |
| 282 | 2 | 5 | RODO | 0 | 0 | 0 |
| 283 | 2 | 23 | RODO | 0 | 0 | 0 |
| 284 | 2 | 24 | RODO | 0 | 0 | 0 |
| 285 | 3 | 1 | RODO | 0 | 0 | 0 |
| 286 | 3 | 2 | RODO | 0 | 0 | 0 |
| 287 | 3 | 4 | RODO | 0 | 0 | 0 |
| 288 | 3 | 5 | RODO | 0 | 0 | 0 |
| 289 | 3 | 23 | RODO | 0 | 0 | 0 |
| 290 | 3 | 24 | RODO | 0 | 0 | 0 |
| 291 | 4 | 1 | RODO | 0 | 0 | 0 |
| 292 | 4 | 2 | RODO | 0 | 0 | 0 |
| 293 | 4 | 3 | RODO | 0 | 0 | 0 |
| 294 | 4 | 5 | RODO | 0 | 0 | 0 |

FLUXO DE BIMODAIS VAZIOS

| COD | ORIGEM | DESTINO | M BIM | Rodoviário |
|-----|--------|---------|-------|------------|
| 295 | 4 | 4 | 23 | 0 |
| 296 | 5 | 4 | 24 | 0 |
| 297 | 5 | 5 | 1 | 0 |
| 298 | 5 | 5 | 2 | 0 |
| 299 | 5 | 5 | 3 | 0 |
| 300 | 5 | 5 | 4 | 0 |
| 301 | 5 | 5 | 23 | 0 |
| 302 | 5 | 5 | 24 | 0 |
| 303 | 23 | 23 | 1 | 0 |
| 304 | 23 | 23 | 2 | 0 |
| 305 | 23 | 23 | 3 | 0 |
| 306 | 23 | 23 | 4 | 0 |
| 307 | 23 | 23 | 5 | 0 |
| 308 | 23 | 23 | 24 | 0 |
| 309 | 24 | 24 | 1 | 0 |
| 310 | 24 | 24 | 2 | 0 |
| 311 | 24 | 24 | 3 | 0 |
| 312 | 24 | 24 | 4 | 0 |
| 313 | 24 | 24 | 5 | 0 |
| 314 | 24 | 24 | 23 | 0 |
| 315 | 9 | 9 | 10 | 0 |
| 316 | 9 | 9 | 12 | 0 |
| 317 | 10 | 10 | 9 | 0 |
| 318 | 10 | 10 | 12 | 0 |
| 319 | 12 | 12 | 9 | 0 |
| 320 | 12 | 12 | 10 | 0 |
| 321 | 13 | 13 | 14 | 0 |
| 322 | 13 | 13 | 15 | 0 |
| 323 | 13 | 13 | 16 | 0 |
| 324 | 13 | 13 | 17 | 0 |
| 325 | 14 | 14 | 17 | 0 |
| 326 | 14 | 14 | 15 | 0 |
| 327 | 14 | 14 | 16 | 0 |
| 328 | 14 | 14 | 17 | 0 |
| 329 | 15 | 15 | 13 | 0 |
| 330 | 15 | 15 | 14 | 0 |
| 331 | 15 | 15 | 16 | 0 |
| 332 | 15 | 15 | 17 | 0 |
| 333 | 16 | 16 | 13 | 0 |
| 334 | 16 | 16 | 14 | 0 |
| 335 | 16 | 16 | 15 | 0 |
| 336 | 16 | 16 | 17 | 0 |
| 337 | 17 | 17 | 13 | 0 |
| 338 | 17 | 17 | 14 | 0 |
| 339 | 17 | 17 | 15 | 0 |
| 340 | 17 | 17 | 16 | 0 |

FLUXO DE BIMODAIS VAZIOS

| Ferroviário | | Ferroviário | | Ferroviário | | Ferroviário | |
|-------------|----------|-------------|------------|-------------|------|-------------|---|
| COD | ORL_RODO | ORL_FERRO | DEST_FERRO | DEST_RODO | Fvaz | | |
| 341 | 2 | 5 | 21 | 21 | 61 | 342 | 2 |
| 342 | 2 | 5 | 21 | 21 | 62 | 343 | 2 |
| 343 | 2 | 5 | 21 | 21 | 63 | 344 | 2 |
| 344 | 2 | 5 | 21 | 21 | 64 | 345 | 2 |
| 345 | 2 | 5 | 21 | 21 | 65 | 346 | 2 |
| 346 | 2 | 5 | 21 | 21 | 66 | 347 | 2 |
| 347 | 2 | 5 | 21 | 21 | 67 | 348 | 2 |
| 348 | 2 | 5 | 21 | 21 | 68 | 349 | 2 |
| 349 | 2 | 5 | 21 | 21 | 69 | 350 | 2 |
| 350 | 2 | 5 | 21 | 21 | 70 | 351 | 2 |
| 351 | 2 | 5 | 21 | 21 | 71 | 352 | 2 |
| 352 | 2 | 5 | 21 | 21 | 72 | 353 | 2 |
| 353 | 2 | 5 | 21 | 21 | 73 | 354 | 2 |
| 354 | 2 | 5 | 21 | 21 | 74 | 355 | 2 |
| 355 | 2 | 5 | 21 | 21 | 75 | 356 | 2 |
| 356 | 2 | 5 | 21 | 21 | 76 | 357 | 2 |
| 357 | 2 | 5 | 21 | 21 | 77 | 358 | 2 |
| 358 | 2 | 5 | 21 | 21 | 78 | 359 | 3 |
| 359 | 3 | 5 | 21 | 21 | 61 | 360 | 3 |
| 360 | 3 | 5 | 21 | 21 | 62 | 361 | 3 |
| 361 | 3 | 5 | 21 | 21 | 63 | 362 | 3 |
| 362 | 3 | 5 | 21 | 21 | 64 | 363 | 3 |
| 363 | 3 | 5 | 21 | 21 | 65 | 364 | 3 |
| 364 | 3 | 5 | 21 | 21 | 66 | 365 | 3 |
| 365 | 3 | 5 | 21 | 21 | 67 | 366 | 3 |
| 366 | 3 | 5 | 21 | 21 | 68 | 367 | 3 |
| 367 | 3 | 5 | 21 | 21 | 69 | 368 | 3 |
| 368 | 3 | 5 | 21 | 21 | 70 | 369 | 3 |
| 369 | 3 | 5 | 21 | 21 | 71 | 370 | 3 |
| 370 | 3 | 5 | 21 | 21 | 72 | 371 | 3 |
| 371 | 3 | 5 | 21 | 21 | 73 | 372 | 3 |
| 372 | 3 | 5 | 21 | 21 | 74 | 373 | 3 |
| 373 | 3 | 5 | 21 | 21 | 75 | 374 | 3 |
| 374 | 3 | 5 | 21 | 21 | 76 | 375 | 3 |
| 375 | 3 | 5 | 21 | 21 | 77 | 376 | 3 |
| 376 | 3 | 5 | 21 | 21 | 78 | 377 | 4 |
| 377 | 4 | 5 | 21 | 21 | 61 | 378 | 4 |
| 378 | 4 | 5 | 21 | 21 | 62 | 379 | 4 |
| 379 | 4 | 5 | 21 | 21 | 63 | 380 | 4 |
| 380 | 4 | 5 | 21 | 21 | 64 | 381 | 4 |
| 381 | 4 | 5 | 21 | 21 | 65 | 382 | 4 |
| 382 | 4 | 5 | 21 | 21 | 66 | 383 | 4 |
| 383 | 4 | 5 | 21 | 21 | 67 | 384 | 4 |
| 384 | 4 | 5 | 21 | 21 | 68 | 385 | 4 |
| 385 | 4 | 5 | 21 | 21 | 69 | 386 | 4 |
| 386 | 4 | 5 | 21 | 21 | 70 | 387 | 4 |
| 387 | 4 | 5 | 21 | 21 | 71 | 388 | 4 |
| 388 | 4 | 5 | 21 | 21 | 72 | 389 | 4 |
| 389 | 4 | 5 | 21 | 21 | 73 | | |

FLUXO DE BIMODAIS VAZIOS

| Ferroviário | | Ferro | | Dest | | Rodo | | Fvaz | |
|-------------|-----|-------|-----|-------|------|-------|------|------|------|
| COD | ORI | RODO | ORI | FERRO | DEST | FERRO | DEST | RODO | Fvaz |
| 439 | 9 | 9 | 9 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 102 |
| 440 | 9 | 9 | 9 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 103 |
| 441 | 9 | 9 | 9 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 104 |
| 442 | 10 | 9 | 9 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 100 |
| 443 | 10 | 9 | 9 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 101 |
| 444 | 10 | 9 | 9 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 102 |
| 445 | 10 | 9 | 9 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 103 |
| 446 | 10 | 9 | 9 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 104 |
| 447 | 10 | 9 | 9 | 9 | 9 | 5 | 5 | 5 | 79 |
| 448 | 10 | 9 | 9 | 9 | 9 | 5 | 5 | 5 | 80 |
| 449 | 10 | 9 | 9 | 9 | 9 | 5 | 5 | 5 | 81 |
| 450 | 10 | 9 | 9 | 9 | 9 | 5 | 5 | 5 | 82 |
| 451 | 10 | 9 | 9 | 9 | 9 | 5 | 5 | 5 | 83 |
| 452 | 10 | 9 | 9 | 9 | 9 | 5 | 5 | 5 | 84 |
| 453 | 13 | 13 | 13 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 185 |
| 454 | 13 | 13 | 13 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 186 |
| 455 | 13 | 13 | 13 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 187 |
| 456 | 13 | 13 | 13 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 188 |
| 457 | 13 | 13 | 13 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 189 |
| 458 | 13 | 13 | 13 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 190 |
| 459 | 13 | 13 | 13 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 191 |
| 460 | 13 | 13 | 13 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 192 |
| 461 | 15 | 15 | 15 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 185 |
| 462 | 15 | 15 | 15 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 186 |
| 463 | 15 | 15 | 15 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 187 |
| 464 | 15 | 15 | 15 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 188 |
| 465 | 15 | 15 | 15 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 189 |
| 466 | 15 | 15 | 15 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 190 |
| 467 | 15 | 15 | 15 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 191 |
| 468 | 15 | 15 | 15 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 192 |
| 469 | 13 | 13 | 13 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 129 |
| 470 | 13 | 13 | 13 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 130 |
| 471 | 13 | 13 | 13 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 131 |
| 472 | 13 | 13 | 13 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 132 |
| 473 | 13 | 13 | 13 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 133 |
| 474 | 13 | 13 | 13 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 134 |
| 475 | 13 | 13 | 13 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 135 |
| 476 | 13 | 13 | 13 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 136 |
| 477 | 13 | 13 | 13 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 137 |
| 478 | 13 | 13 | 13 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 138 |
| 479 | 13 | 13 | 13 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 139 |
| 480 | 13 | 13 | 13 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 140 |
| 481 | 15 | 15 | 15 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 129 |
| 482 | 15 | 15 | 15 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 130 |
| 483 | 15 | 15 | 15 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 131 |
| 484 | 15 | 15 | 15 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 132 |
| 485 | 15 | 15 | 15 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 133 |
| 486 | 15 | 15 | 15 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 134 |
| 487 | 15 | 15 | 15 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 135 |

FLUXO DE BIMODAIS VAZIOS

| Ferroviário | | Ferroviário | | Ferroviário | | Ferroviário | |
|-------------|----------|-------------|------------|-------------|------|-------------|-----|
| COD | ORL_RODO | ORL_FERRO | DEST_FERRO | DEST_RODO | FVAZ | | |
| 488 | 15 | 13 | 5 | 5 | 136 | 136 | 136 |
| 489 | 15 | 13 | 5 | 5 | 137 | 137 | 137 |
| 490 | 15 | 13 | 5 | 5 | 138 | 138 | 138 |
| 491 | 15 | 13 | 5 | 5 | 139 | 139 | 139 |
| 492 | 15 | 13 | 5 | 5 | 140 | 140 | 140 |
| 493 | 15 | 13 | 5 | 5 | 129 | 129 | 129 |
| 494 | 15 | 13 | 5 | 5 | 130 | 130 | 130 |
| 495 | 15 | 13 | 5 | 5 | 131 | 131 | 131 |
| 496 | 15 | 13 | 5 | 5 | 132 | 132 | 132 |
| 497 | 15 | 13 | 5 | 5 | 133 | 133 | 133 |
| 498 | 15 | 13 | 5 | 5 | 134 | 134 | 134 |
| 499 | 15 | 13 | 5 | 5 | 135 | 135 | 135 |
| 500 | 15 | 13 | 5 | 5 | 136 | 136 | 136 |
| 501 | 15 | 13 | 5 | 5 | 137 | 137 | 137 |
| 502 | 15 | 13 | 5 | 5 | 138 | 138 | 138 |
| 503 | 15 | 13 | 5 | 5 | 139 | 139 | 139 |
| 504 | 15 | 13 | 5 | 5 | 140 | 140 | 140 |
| 505 | 21 | 21 | 9 | 9 | 243 | 243 | 243 |
| 506 | 21 | 21 | 9 | 9 | 244 | 244 | 244 |
| 507 | 21 | 21 | 9 | 9 | 245 | 245 | 245 |
| 508 | 21 | 21 | 9 | 9 | 246 | 246 | 246 |
| 509 | 21 | 21 | 9 | 9 | 247 | 247 | 247 |
| 510 | 21 | 21 | 9 | 9 | 248 | 248 | 248 |
| 511 | 21 | 21 | 9 | 9 | 249 | 249 | 249 |
| 512 | 21 | 21 | 9 | 9 | 250 | 250 | 250 |
| 513 | 21 | 21 | 9 | 9 | 243 | 243 | 243 |
| 514 | 21 | 21 | 9 | 9 | 244 | 244 | 244 |
| 515 | 21 | 21 | 9 | 9 | 245 | 245 | 245 |
| 516 | 21 | 21 | 9 | 9 | 246 | 246 | 246 |
| 517 | 21 | 21 | 9 | 9 | 247 | 247 | 247 |
| 518 | 21 | 21 | 9 | 9 | 248 | 248 | 248 |
| 519 | 21 | 21 | 9 | 9 | 249 | 249 | 249 |
| 520 | 21 | 21 | 9 | 9 | 250 | 250 | 250 |
| 521 | 21 | 21 | 13 | 13 | 251 | 251 | 251 |
| 522 | 21 | 21 | 13 | 13 | 252 | 252 | 252 |
| 523 | 21 | 21 | 13 | 13 | 253 | 253 | 253 |
| 524 | 21 | 21 | 13 | 13 | 254 | 254 | 254 |
| 525 | 21 | 21 | 5 | 5 | 193 | 193 | 193 |
| 526 | 21 | 21 | 5 | 5 | 194 | 194 | 194 |
| 527 | 21 | 21 | 5 | 5 | 195 | 195 | 195 |
| 528 | 21 | 21 | 5 | 5 | 196 | 196 | 196 |
| 529 | 21 | 21 | 5 | 5 | 197 | 197 | 197 |
| 530 | 21 | 21 | 5 | 5 | 198 | 198 | 198 |
| 531 | 21 | 21 | 5 | 5 | 199 | 199 | 199 |
| 532 | 21 | 21 | 5 | 5 | 200 | 200 | 200 |
| 533 | 21 | 21 | 5 | 5 | 201 | 201 | 201 |
| 534 | 21 | 21 | 5 | 5 | 202 | 202 | 202 |
| 535 | 21 | 21 | 5 | 5 | 203 | 203 | 203 |
| 536 | 21 | 21 | 5 | 5 | 204 | 204 | 204 |

FLUXO DE BIMODAIS VAZIOS

| Ferroviário | | Ferro | | Destino | | Rodo | | Vazios | |
|-------------|-----|-------|------|---------|------|------|------|--------|------|
| COD | ORI | FERRO | DEST | FERRO | DEST | RODO | DEST | RODO | DEST |
| 537 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 538 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 539 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 540 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 541 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 542 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 543 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 544 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 545 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 546 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 547 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 548 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 549 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 550 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 551 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 552 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 553 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 554 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 555 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 556 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 557 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 558 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 559 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 560 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 561 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 562 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 563 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 564 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 565 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 566 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 567 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 568 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 569 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 570 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 571 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 572 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 573 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 574 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 575 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 576 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 577 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 578 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 579 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 580 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 581 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 582 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 583 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 584 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 585 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |

FLUXO DE BIMODAIS VAZIOS

| Ferroviário | | Fvaz | |
|-------------|--------------------------------|--------------------------------|------|
| COD | ORI_FERRO DEST_FERRO DEST_RODO | ORI_FERRO DEST_FERRO DEST_RODO | Fvaz |
| 586 | 21 | 21 | 5 |
| 587 | 21 | 21 | 5 |
| 588 | 21 | 21 | 5 |
| 589 | 21 | 21 | 5 |
| 590 | 21 | 21 | 5 |
| 591 | 21 | 21 | 5 |
| 592 | 21 | 21 | 5 |
| 593 | 21 | 21 | 5 |
| 594 | 21 | 21 | 5 |
| 595 | 21 | 21 | 5 |
| 596 | 21 | 21 | 5 |
| 597 | 21 | 21 | 5 |
| 598 | 21 | 21 | 5 |
| 599 | 21 | 21 | 5 |
| 600 | 21 | 21 | 5 |
| 601 | 21 | 21 | 5 |
| 602 | 21 | 21 | 5 |
| 603 | 21 | 21 | 5 |
| 604 | 21 | 21 | 5 |
| 605 | 21 | 21 | 5 |
| 606 | 21 | 21 | 5 |
| 607 | 21 | 21 | 5 |
| 608 | 21 | 21 | 5 |