ANDRÉ BERGSTEN MENDES
Eng. Naval, Escola Politécnica da USP, 1996

**MODELO ECONÔMICO-OPERACIONAL PARA O
DIMENSIONAMENTO DO TRANSPORTE INTERMODAL DE
CARGAS PELA HIDROVIA TIETÊ-PARANÁ**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Mestre em Engenharia

São Paulo
Junho de 1999

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

TERMO DE JULGAMENTO
DE
DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Aos 11 dias do mês de junho de 1999, às 14:00 horas, no Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, presente a Comissão Julgadora, integrada pelos Senhores Professores Doutores Rui Carlos Botter, orientador do candidato, Marco Antonio Brinati e Floriano Carlos Martins Pires Junior iniciou-se a Defesa de Dissertação de Mestrado do Sr. **ANDRÉ BERGSTEN MENDES**.

Título da Dissertação: "MODELO ECONÔMICO-OPERACIONAL PARA O DIMENSIONAMENTO DO TRANSPORTE INTERMODAL DE CARGAS PELA HIDROVIA TIETÊ-PARANÁ".

Concluída a arguição, procedeu-se ao julgamento na forma regulamentar, tendo a Comissão Julgadora considerado o candidato:

Prof.Dr. Rui Carlos Botter.....(Rui Botter Aprovado)

Prof.Dr. Marco Antonio Brinati.....(aprovado)

Prof.Dr. Floriano Carlos Martins P.Junior...(aprovado)

para constar, é lavrado o presente termo, que vai assinado pela Comissão Julgadora e pela Secretária de Pós-Graduação.

São Paulo, 11 de junho de 1999.

A Comissão Julgadora :

Rui Botter
Marco Antonio Brinati
Floriano Carlos Martins Pires Junior

Secretária: Elisabete Apª F.S.Ramos Elisabete Apª F.S.Ramos

Obs: Resolução 4476, de 17.09.1997 Altera dispositivos do Regimento Geral da USP Art.109 - Imediatamente após o encerramento da arguição da dissertação ou da tese cada examinador expressará seu julgamento em sessão secreta, considerando o candidato **aprovado** ou **reprovado**.

Homologado pela C.P.G. em reunião realizada a 09/08/1999.

212p.

BC

Universidade de São Paulo
Biblioteca da Escola Politécnica

FD-2449

ANDRÉ BERGSTEN MENDES
Eng. Naval, Escola Politécnica da USP, 1996

**MODELO ECONÔMICO-OPERACIONAL PARA O
DIMENSIONAMENTO DO TRANSPORTE INTERMODAL DE
CARGAS PELA HIDROVIA TIETÊ-PARANÁ**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Mestre em Engenharia

Área de Concentração : Engenharia Naval

Orientador :
Dr. Rui Carlos Botter
Professor Doutor do Departamento de
Engenharia Naval e Oceânica da EPUSP

São Paulo
Junho de 1999

MENDES, André Bergsten

Modelo econômico-operacional para o dimensionamento do transporte intermodal de cargas pela hidrovia Tietê-Paraná, São Paulo, 1999.

212p.

Dissertação(Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica.

1. Transporte Fluvial 2. Simulação de Sistemas de Transportes Intermodal 3 Análise Econômica

I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.

Departamento de Engenharia Naval e Oceânica II.t

Aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - pelo auxílio financeiro concedido durante a pesquisa.

Às empresas que contribuíram com dados, sugestões, críticas e permitiram visitas às suas instalações.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da USP, pelo apoio.

Aos colegas do grupo de Transportes e Logística do Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da USP, e aos demais colegas de Pós-Graduação, pelas críticas construtivas, pelo apoio e sobretudo pela amizade.

À minha família, pelo grande amor, carinho, apoio, e contínuo incentivo.

Ao Prof. Dr. Rui Carlos Botter, que tem sido muito mais que um grande orientador, não medindo esforços para a concretização desta pesquisa e para a formação da minha carreira.

A Deus, pela capacitação e ajuda em todos os momentos.

ÍNDICE

Lista de Figuras	3
Lista de Tabelas	5
Resumo	6
Abstract	8
1 - Introdução e Objetivos.....	10
1.1 - Introdução	10
1.2 - Objetivos do Trabalho Proposto	13
1.3 - Delineamento do Trabalho	15
2 - Revisão Bibliográfica	16
2.1 - Introdução e Comentários	16
2.2 - Revisão Bibliográfica sobre Metodologias para a Solução e Modelagem de Sistemas	17
2.2.1 - Metodologias de Planejamento	17
2.2.2 - O Processo da Simulação	24
2.2.3 - Simulação em Sistemas de Transporte	36
2.2.4 - Custos.....	39
3 - Aplicação da Metodologia para o Desenvolvimento do Modelo Econômico- Operacional para o Dimensionamento do Transporte Intermodal de Cargas pela Hidrovia Tietê-Paraná.....	58
3.1 -Definição do Problema	58
3.2 -Planejamento do Projeto	59
3.3 - Definição do Sistema.....	59
3.4 - Formulação Conceitual do Modelo	62
3.4.1 - Subsistema Rodoviário e Terminal Rodo-Hidroviário	63
3.4.2 - Subsistema Hidroviário, Terminal Rodo-Hidroviário e Terminal Hidro-Ferrovário	65
3.4.3 - Terminal Hidro-Ferrovário e Subsistema Ferrovário	70
3.4.4 - Subsistema Eclusa	72
3.4.5 - Subsistema de Monitoramento das Tancagens	76
3.5 - Projeto Experimental Preliminar	82
3.6 - Preparação dos Dados de Entrada	85
3.7 - Tradução do Modelo.....	85
3.8 - Verificação e Validação	85

3.9 - Projeto Final Experimental, Experimentações, Análise e Interpretação	6
3.9.1 – Experimentações do Modelo utilizando o Cenário Padrão	6
4 -Análise Econômica de Alternativas para o Sistema Intermodal de	
Transportes Utilizando a Hidrovia Tietê-Paraná	6
4.1 – Parâmetros de Custo do Modal Rodoviário	6
4.2 – Parâmetros de Custo do Modal Hidroviário	6
4.3- Parâmetros de Custo do Modal Ferroviário	6
4.4 – Parâmetros de Custo dos Terminais Intermodais	6
4.5 – Avaliação Econômica das Alternativas	6
4.6 - Análise de Sensibilidade	6
4.6.1 – Período Diário Permitido para Eclusagem: 12hs, 18hs e 24hs	6
4.6.2 – Efeito do Desmembramento dos Comboios nos Terminais	
Hidroviários	6
5 - Conclusões e Recomendações	6
6 - Referências Bibliográficas	6
Anexo I - Bibliografia Complementar	6
Anexo II - Planilha de Custos do Modal Hidroviário	6
Anexo III - Sistema Intermodal Simulado	6
Anexo IV - Telas do Modelo de Simulação	6
Anexo V - Listagem do Arquivo de Experimentos	6
Anexo VI - Listagem do Modelo em SIMAN	6
Anexo VII - Listagem dos Resultados	6

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Seleção de técnica - Fonte: Harrington, Lambert e Sterling (1992).	6
Figura 2.2 - Estrutura Hierarquizada para os processos de verificação e validação.....	6
Figura 2.3 - Grau de Credibilidade do modelo de simulação - Fonte: Balci (1997)	6
Figura 2.4 - Tipos de Erros possíveis num estudo de Simulação.....	6
Figura 3.1 - Terminal Rodo-Hidroviário (Interface Rodoviária)	6
Figura 3.2 - Terminal Rodo-Hidroviário (Interface Hidroviária Sem Desmembramento)	6
Figura 3.3 - Terminal Rodo-Hidroviário (Interface Hidroviária Com Desmembramento)	6
Figura 3.4 - Terminal Hidro-Ferrovário (Interface Hidroviária)	6
Figura 3.5 - Terminal Hidro-Ferrovário (Interface Ferrovária)	6
Figura 3.6 - Eclusagem Montante-Jusante	6
Figura 3.7 - Eclusagem Jusante-Montante	6
Figura 3.8 - Terminal Rodo-Hidroviário (Monitora o Nível do Armazém, Verificando se foi atingida a Capacidade Máxima)	6
Figura 3.9 - Terminal Rodo-Hidroviário (Monitora o Nível do Armazém, Verificando se foi Atingido o Nível 0)	6
Figura 3.10 - Terminal Rodo-Hidroviário (Monitora o Descarregamento de um Caminhão, Verificando se foi Atingido o Nível 0)	6
Figura 3.11 - Terminal Rodo-Hidroviário (Monitora o Nível do Armazém, Verificando se foi Atingido o Nível de Reposição)	6
Figura 3.12 - Terminal Rodo-Hidroviário (Monitora o Nível do Comboio, Verificando se foi Atingido a Capacidade Máxima)	6
Figura 3.13 - Terminal Hidro-Ferrovário (Monitora o Nível do Comboio, Verificando se foi Atingido o Nível 0)	6
Figura 3.14 - Terminal Hidro-Ferrovário (Monitora o Nível do Armazém, Verificando se foi Atingida a Capacidade Máxima)	6
Figura 3.15 - Terminal Hidro-Ferrovário (Monitora o Nível do Armazém, Verificando se o Nível Caiu abaixo de 95% da Capacidade Máxima)	6
Figura 3.16 - Terminal Hidro-Ferrovário (Monitora o Nível do Armazém, Verificando se foi Atingido o Nível 0)	6
Figura 3.17 - Terminal Hidro-Ferrovário (Monitora o Nível do Armazém, Verificando se foi Atingido o Nível de Reposição)	6
Figura 3.18 - Terminal Hidro-Ferrovário (Monitora o Nível do Trem, Verificando se foi Atingido a Capacidade Máxima)	6
Figura 3.19 - Período Transitório da Simulação	6
Figura 3.20 - Experimentos Utilizando a Simulação - Michael Pidd (1998)	6
Figura 3.21 - Intervalo Médio de Chegadas x Demanda Mensal Atendida	6
Figura 3.22 - Intervalo de Chegada entre Trens x Quantidade Total Transportada	6
Figura 3.23 - Intervalo de Chegada entre Trens x Estoque Médio em Pederneiras	6

Figura 4.1 - Influência do Tamanho dos Silos no Custo Global de Transportes.	6
Figura 4.2 - Influência do Número de Comboios no Custo Global de Transportes.....	6
Figura 4.3 - Influência da Redução do Horário de Eclusagem no Custo Global de Transportes.....	6
Figura III.1 - Chegada e Pesagem dos Caminhões em São Simão (GO).....	6
Figura III.2 - Descarregamento dos Caminhões	6
Figura III.3 - Chegada do Comboio em São Simão (GO)	6
Figura III.4 - Carregamento do Comboio	6
Figura III.5 - Reposicionamento da Chata junto ao Berço	6
Figura III.6 - Formação do Comboio	6
Figura III.7 - Passagem pelo Canal de Pereira Barreto	6
Figura III.8 - Passagem por uma Eclusa.....	6
Figura III.9 - Terminal Intermodal de Pederneiras (SP)	6
Figura III.10 - Interface Ferroviária do Terminal Intermodal de Pederneiras (SP)	6
Figura III.11 - Descarregamento do Comboio Fluvial	6
Figura III.12 - Frota Aguardando Início da Viagem de Retorno	6
Figura IV.1 - Definição das Variáveis, Expressões e Recursos	6
Figura IV.2 - Leitura dos Dados de Entrada	6
Figura IV.3 - Gravação dos Resultados da Simulação	6
Figura IV.4 - Criação das Embarcações e Posicionamento ao Longo da Hidrovia.....	6
Figura IV.5 - Terminal Intermodal de Pederneiras (SP).....	6
Figura IV.6 - Terminal Intermodal de São Simão (GO).....	6
Figura IV.7 - Tramos Hidroviários	6
Figura IV.8 - Chegada à Eclusa.....	6
Figura IV.9 - Transposição da Eclusa.....	6
Figura IV.10 - Tela de Monitoramento do Processo de Eclusagem.....	6
Figura IV.11 - Cômputo dos Estoques Médios	6
Figura IV.12 - Definição de Estatísticas.....	6
Figura IV.13 - Elementos de Monitoramento das Tancagens.....	6
Figura IV.14 - Tela de Monitoramento do Tráfego de Embarcações	6
Figura IV.15 - Tela de Animação do Modelo	6

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Tipos de Modelos - Eom et. al (1998).....	6
Tabela 2.2 - Parâmetros da Planilha de Custo de Transporte Fluvial.....	6
Tabela 2.3 - Parâmetros da Planilha de Custo de Transporte Rodoviário.....	6
Tabela 3.1 - Variáveis a Serem Variados no Modelo Operacional	6
Tabela 3.2 – Resultados a serem fornecidos pelo Modelo	6
Tabela 3.3 – Variáveis a Serem Dimensionadas	6
Tabela 3.4 – Faixa de Variação das Variáveis Utilizadas na Simulação I do Cenário Padrão.....	6
Tabela 3.5 – Faixa de Variação das Variáveis Utilizadas na Simulação II do Cenário Padrão.....	6
Tabela 3.6 - Resultados Parciais da Simulação	6
Tabela 3.7 - Utilização dos Comboios	6
Tabela 3.8 – Faixa de Variação das Variáveis Utilizadas na Simulação III do Cenário Padrão.....	6
Tabela 3.9 - Resultados Operacionais do Modal Hidroviário (Núm. Comboios=5)	6
Tabela 3.10 – Faixa de Variação das Variáveis Utilizadas na Simulação IV do Cenário Padrão.....	6
Tabela 4.1 - Parâmetros de Custo do Modal Hidroviário	6
Tabela 4.2 - Custo por Tonelada Global dos Cenários Testados e Rateio por Modal/Terminal	6
Tabela 4.3 - Tempo Médio de Viagem Redonda	6
Tabela 4.4 - Custo Mensal Hidroviário.....	6
Tabela 4.5 - Custo Global.....	6

RESUMO

A Hidrovia Tietê-Paraná é um complexo hidroviário que atravessa a região sudeste do Brasil e constitui um meio de transporte alternativo ainda pouco explorado, que interliga 5 grandes estados brasileiros, além de ser um elo de ligação com os países do MERCOSUL.

O gabarito da hidrovia limita barcas a dimensões principais de 60m x 11m x 2,5m, mas que acopladas formam comboios com capacidade de até 4500t. Estas embarcações podem transportar cargas de granel sólido (commodities agrícolas) e de granel líquido (combustíveis) no longo curso, areia e cana-de-açúcar em curtas distâncias, sendo que experiências com carga geral também foram feitas.

Devido ao fato dos centros produtores e dos centros consumidores estarem distantes da hidrovia, a eficiência do transporte hidroviário é altamente dependente da eficiência do sistema logístico em que está inserido. Desta forma, tanto os sistemas de transporte nas pontas de origem e destino (rodoviário e ferroviário), como também a armazenagem nos terminais intermodais devem estar operando de maneira eficaz e balanceada para tornar este sistema competitivo.

O objetivo desta pesquisa é dar uma resposta eficiente e realista ao problema de dimensionar um sistema de transporte utilizando modais combinados. Desta forma, dado uma origem e um destino, um tipo de carga, sua demanda mensal, os modais de transporte utilizados, busca-se dimensionar cada parte deste sistema intermodal, fornecendo como resposta a configuração de frota de caminhões e o número de viagens necessárias, o número de composições ferroviárias e a frequência de requisição das mesmas, a frota de embarcações fluviais e a capacidade dos terminais de carga.

O dimensionamento é focado na solução que atende à demanda a um mínimo custo. Desta forma, os aspectos econômicos de cada operação também são considerados.

Para resolver este problema complexo, utilizou-se a técnica de simulação probabilística, pois a mesma permite modelar com maior precisão a interação entre os diversos subsistemas, além de poder representar os fenômenos aleatórios presentes. A simulação também é uma boa ferramenta para lidar com os congestionamentos observados na passagem em eclusas, canais e na utilização de berços dos terminais.

O sistema consiste de um módulo de entrada de dados, no qual o usuário define o cenário padrão que deverá ser simulado. O modelo computacional foi desenvolvido na linguagem de simulação ARENA, o qual conta com uma rica interface gráfica, módulos de análise de dados (input and output analyser), ferramentas para construção de templates personalizados, programação complementada por recursos do *Visual Basic for Applications* e um gerenciador de cenários que permite programar diversas rodadas consecutivas do modelo.

O modelo foi aplicado à Hidrovia Tietê-Paraná e aos modais a ela associados, e permitiu dimensionar um sistema intermodal com menor custo total do que o transporte de grãos exclusivamente rodoviário.

ABSTRACT

Tietê-Paraná Waterway is a complex inland navigation system that crosses the southeast area of Brazil, and it is an alternative mean of transportation still not very explored, that connects 5 great Brazilian states, besides being a connection link with the countries of MERCOSUL.

The waterway dimensions limits the barges to 60m x 11m x 2,5m, but when coupled, form convoys with capacity of up to 4500 tons. These vessels transport dry bulk (agricultural commodities) and wet bulk (fuels) in the long course, and sand and sugar-cane in short distances.

Due to the fact of the producing centers and of the consuming centers are distant from the waterway, the efficiency of the waterway transportation is highly dependent of the efficiency of the whole logistics system. Therefore the transport systems in the origin and destiny points (road and rail transport), as well as the storage in the intermodal terminals should be designed and operated in an effective and balanced way to turn this a competitive system.

The objective of this current research is to give a fast and realistic answer to the design problem of a transportation system using different combined modals. Therefore, given an origin and a destiny, a cargo type, its monthly demand and the modals of transportation, the model would design each part of this intermodal system, giving as a response the configuration of the fleet of trucks and the number of necessary trips, the number of rail compositions and their frequency of requisition, the fleet of vessels and the storage capacity of the terminals.

The system design is focused in the solution that attends the monthly demand at a minimum cost. Therefore the economical aspects of each operation are also considered.

To solve this complex problem, the technique of probabilistic simulation was used, because it allows to model with larger precision the interaction among the several subsystems, besides allowing to represent the randomness of the system. Simulation is also an appropriate tool to represent the traffic jams in the locks and in the passage through the channels and also to lead with the occupation of terminals' berths.

The system consists of a module of data entrance, in which the user defines the standard scenario that should be simulated. The computational model was developed using the simulation language ARENA, that has a rich graphic interface, modules of data analysis (input and output analyzer), tools for construction of customized templates, programming complemented by resources of Visual Basic for Applications and a scenario manager that allows to program several serial runs of the model.

The model was applied to the Tietê-Paraná Waterway and to the transportation modals that work together with it. It was possible to design an intermodal transportation system that presented lower costs to those that exists nowadays.

MODELO ECONÔMICO-OPERACIONAL PARA O DIMENSIONAMENTO DO TRANSPORTE INTERMODAL DE CARGAS PELA HIDROVIA TIETÊ-PARANÁ

1 - INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

1.1 - Introdução

O sistema hidroviário Tietê-Paraná é um empreendimento que vem sendo implantado há 40 anos e que teve como modelo o rio Tennessee nos Estados Unidos. Trata-se de uma hidrovia composta pelos rios Tietê, Paraná e seus afluentes, que atravessa as regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil, tendo área de influência de 76 milhões de hectares, onde se inclui o estado de São Paulo. Sua extensão é de 1600 km de vias navegáveis principais e 800 km de vias secundárias. Possui em sua extensão canais artificiais e um conjunto de 6 barragens hidrelétricas no Rio Tietê, 4 no Rio Paraná, dotadas na sua maioria de eclusas, conforme Riva (1995).

Historicamente, a hidrovia começou a ser efetivamente utilizada nos anos 80 com o transporte a pequenas distâncias de cana-de-açúcar e de álcool. Os fatores limitantes à sua plena utilização estão basicamente ligados à falta de obras de infraestrutura e estas por sua vez, limitadas pela falta de recursos financeiros por parte do governo estadual e federal. Contudo com o passar do tempo, as obras auxiliares à navegação têm sido aos poucos completadas, aumentando desta forma os trechos navegáveis.

Um dos marcos significativos foi, em 1991, a inauguração do Canal de Pereira Barreto, ligando o rio Tietê com o tramo norte do rio Paraná. Este canal possibilitou a navegação ao ponto extremo norte da hidrovia no município de São Simão (GO). Com esta nova extensão navegável, o perfil das cargas hidroviáveis e do tipo de transporte praticado mudaram. Inicialmente se

transportava cargas a curtas distâncias (entre reservatórios) tais como cana-de-açúcar, álcool e derivados de petróleo, calcário e areia. Após a inauguração deste canal, um novo segmento passou a ser contemplado na matriz de carga da hidrovia, que são os grãos vindos da região Centro Oeste. Com a expansão da fronteira agrícola brasileira e a necessidade dos grãos terem um preço competitivo no mercado externo, a economia proporcionada por um escoamento mais econômico fez com que a Hidrovia Tietê-Paraná passasse a ser uma alternativa viável.

Além disso, em 1998 foi inaugurada a eclusa de Jupia, um empreendimento vital para a integração dos três tramos principais da Hidrovia Tietê-Paraná. Este fato também foi um importante avanço na interligação entre os países do MERCOSUL. Apesar de ainda haver restrições na via navegável no tramo Sul Paraná, e o grande desafio de transposição em Itaipu, a hidrovia passou a ser uma realidade como elemento integrador.

Esta ampliação da extensão navegável e a consequente mudança no transporte de cargas tem dado à hidrovia Tietê-Paraná a sua real competitividade como modal alternativo: transporte de altos volumes a longas distâncias. Os benefícios, muitos dos quais mensuráveis, podem ser indicados:

- 1) Esperada redução do custo de transporte em virtude da utilização em grandes distâncias de modais hidroviários e ferroviários para transporte de cargas;
- 2) Mudança na matriz de transporte, trazendo como benefícios diretos além da possível redução de fretes, a redução de consumo de combustíveis, maior conservação das estradas e redução dos níveis de poluição;
- 3) Surgimento de atividades ligadas à indústria naval, tais como os estaleiros de construção, de reparos e escolas técnicas;
- 4) Descentralização industrial, com a criação de novos distritos;
- 5) Fixação do homem no campo e o incentivo à prática intensiva da agricultura, beneficiada pela possibilidade do uso da irrigação e do controle das cheias;
- 6) Crescimento de atividades ligadas à pesca e ao turismo, com a consequente expansão dos serviços de hotelaria e de esportes náuticos.

Impulsionadas pelas melhorias na via navegável e pela possibilidade de atingir distâncias hidroviárias maiores, algumas empresas passaram a avaliar a possibilidade de utilização do modal hidroviário para compor um dos trechos do transporte de seus produtos. Esta avaliação insere-se dentro de um contexto maior de planejamento, que pode ser classificado em três níveis:

1. *Nível Estratégico* – Trata-se de um planejamento a longo prazo, o qual é realizado por um nível gerencial mais elevado e geralmente envolve altos custos de capital para investimento. Neste nível de planejamento traçam-se as diretrizes/políticas gerais de desenvolvimento, e as decisões tomadas ditam a estratégia de operação do sistema como um todo.
2. *Nível Tático* – É um planejamento que busca garantir, dentro de um médio prazo, a alocação racional e eficiente dos recursos existentes, visando atender às diretrizes globais traçadas no planejamento estratégico.
3. *Nível Operacional* – Trata-se de um planejamento a curto prazo, às vezes em uma base diária/semanal, dentro de um ambiente dinâmico de operação, que busca atingir as metas estipuladas no planejamento tático, respeitando as regras, os limites e as restrições do sistema.

Desta forma, ao decidir utilizar um sistema de transporte intermodal onde, por exemplo, contemple os modais rodoviar, ferroviário e hidroviário, visando atender uma demanda pré-definida, uma empresa definiu estrategicamente uma política de operação.

Em uma próxima etapa, devem ser dimensionados operacional e economicamente este sistema de tal forma que os recursos sejam alocados de forma eficiente. Ou seja, é necessário avaliar taticamente uma decisão estratégica de utilização de um transporte combinado.

Contudo, um sistema intermodal desta natureza é bastante complexo do ponto de vista operacional, pois se trata de um transporte combinado entre diferentes modais, aos quais se interpõem os terminais que são, na sua maioria, dotados de silos ou tanques.

A dificuldade no dimensionamento reside no fato de que os diversos modais operam de forma independente e de maneira assíncrona, podendo causar problemas de congestionamento e formação de filas em terminais. Estes problemas se traduzem em elevados custos de transportes e também de armazenagem. Outro fator que torna difícil a avaliação de um sistema integrado como este é a presença de aleatoriedades nos diversos processos. Objetiva-se portanto, um dimensionamento em que o fluxo de carga seja integrado ou balanceado entre os modais, e que o fator de utilização - ou fator de aproveitamento - dos veículos de carga seja o maior possível, mesmo na presença de fatores aleatórios.

Associado à necessidade de um dimensionamento realístico do sistema de transporte, é preciso computar qual o custo de transporte associado a esta solução. Isto porque soluções operacionalmente viáveis nem sempre poderão ser economicamente viáveis. Trata-se de um binômio que deverá ter uma solução otimizada em função dos recursos disponíveis por uma empresa de transporte.

1.2 - Objetivos do Trabalho Proposto

O objetivo principal da pesquisa consiste no desenvolvimento de uma sistemática para o dimensionamento econômico-operacional do transporte intermodal de cargas pela hidrovía Tietê-Paraná, consubstanciada em um modelo de simulação computacional associado a planilhas de custo.

É desejável que se possa contar com um modelo generalizado, capaz de propiciar uma análise operacional do transporte intermodal. Para isso, poderiam ser variados: a localização, os tipos e as características dos terminais de carga ao longo da hidrovia, os modais a serem utilizados, além das principais variáveis deste sistema de transporte, tais como:

- 1) velocidade dos veículos rodo, ferro e hidroviário;
- 2) capacidade de carga dos mesmos;
- 3) existência ou não de silos/tanques nos terminais;
- 4) taxas de transbordo nos terminais;
- 5) capacidade de armazenagem dos silos/tanques;
- 6) comboios operando com ou sem desmembramento nos terminais;
- 7) comboios com 2 ou 4 chatas (os comboios duplos, com 4 chatas, têm de realizar operação de desmembramento nas eclusas);
- 8) operação das eclusas 16 horas (se necessário para alguma manutenção preventiva) x 24 horas;
- 9) existência ou não de carga de retorno.

De posse do modelo, das características de demanda de uma carga (origem, destino, volumes, etc.), dos pontos de transbordo, das características operacionais de cada modal e dos parâmetros de custo envolvidos, será possível simular a operação deste sistema, aproximando-se de uma condição real de operação, visando tornar o dimensionamento o mais realista possível.

Com os dados de saída do modelo será possível dimensionar este sistema de transporte, chegando-se a uma configuração de frota de caminhões, de comboios fluviais, de composições ferroviárias e terminais, tendo associado o custo total de operação.

Poderão ser realizados análises de sensibilidade, com a finalidade de verificar o peso de cada variável no sistema e qual o efeito da variação de cada variável sobre o custo de transporte e sobre a quantidade total transportada.

O modelo também permitirá que, uma vez encontrada a melhor solução, o custo de transporte seja recalculado quando houver qualquer variação de algum de seus itens.

Pretende-se também calcular o custo global de um sistema intermodal utilizando a hidrovia Tietê-Paraná e compará-lo com os custos rodoviários praticados atualmente, visando estabelecer os níveis de redução.

1.3 - Delineamento do Trabalho

O capítulo 2 mostra a revisão bibliográfica efetuada e que foi dividida em duas partes: a primeira parte visou dar uma visão completa do sistema intermodal em estudo e a segunda parte é voltada para a metodologia que será empregada no desenvolvimento da pesquisa.

No capítulo 3 a metodologia revisada descrita no capítulo 2 foi adaptada e aplicada para o sistema intermodal de transporte de cargas através da hidrovia Tietê-Paraná.

No capítulo 4 mostram-se as análises econômicas dos resultados obtidos através das simulações e uma análise de sensibilidade é mostrada.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões e as recomendações.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Introdução e Comentários

Encontram-se comentadas duas classes de bibliografias para o desenvolvimento da pesquisa. Em primeiro lugar, são abordadas referências de caráter geral que visam dar uma visão completa do sistema em estudo, ou seja, a descrição da hidrovia, das embarcações, de alguns modelos desenvolvidos que abordam o dimensionamento de sistemas fluviais, alguns trabalhos voltados para a avaliação de demanda de carga, cálculo de custos, etc. Esta bibliografia encontra-se comentada no anexo I do presente texto.

Em segundo lugar, os assuntos revisados estão voltados para a metodologia que é empregada no desenvolvimento da pesquisa propriamente dita. Assim sendo, o foco passa a ser as metodologias de planejamento de sistemas de transportes existentes, a metodologia para utilização da técnica de simulação, a simulação aplicada a sistemas de transportes e por último a estrutura de custos.

2.2 - Revisão Bibliográfica sobre Metodologias para a Solução e Modelagem de Sistemas

2.2.1 - Metodologias de Planejamento

Na literatura tem-se encontrado diversas referências de uso de modelos computacionais para o planejamento de sistemas logísticos, os quais são conhecidos como Sistemas de Apoio à Decisão.

Eom et al. (1998) conceitua um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) como um sistema computacional interativo que:

- apoie as pessoas envolvidas no processo de decisão, ao invés de substituí-las;
- se utilize de dados e modelos;
- resolva problemas com um diversos graus de estruturação;
- focalize a eficácia do processo de decisão ao invés da eficiência deste processo.

Ao fazer uma análise dos SAD presentes na literatura técnica no período de 1988 a 1994, este autor classificou os modelos da forma mostrada na tabela 2.1, evidenciando a aplicabilidade da simulação como uma ferramenta de apoio à decisão.

Tabela 2.1 - Tipos de Modelos - Eom et. al (1998)

Tipos de Modelos	
Modelos Determinísticos	
Programação Linear	
Programação por Metas	
Modelos de Transporte	
Modelos de Fluxo em Rede	
Modelos de Estoque	
Programação Inteira	
Programação Não-Linear	
Programação Dinâmica	
Modelos Estocásticos	
Modelos de Fila	
Modelos de Processos de Markov	
Modelos de Simulação	
Árvores de Decisão	
Teoria dos Jogos	
Outros Modelos Estocásticos	
Modelos Estatísticos e de Previsão	
Outros	
Outros Modelos de Tomada de Decisão com Múltiplas Variáveis	
Modelagem com Planilhas	
Gráficos	
Inteligência Artificial	
Modelagem Visual Interativa	
Linguagens de Busca	
Outros	

Este autor também indicou-se as áreas nas quais mais foram desenvolvidos SAD:

- *Gerenciamento de produção e operações* - incluem aplicações em diversos setores, incluindo o de transportes, gerenciamento de frota, programação de viagens de trens, scheduling de veículos de coleta, controle de vôos, tripulações de aeronaves e terminais em aeroportos;
- *Sistemas de informações gerenciais*;
- *Marketing* - entre outras funções o dimensionamento de redes de transporte e distribuição, planejamento logístico, scheduling de veículos, etc.

Harrington, et al. (1992) mostram o impacto financeiro nas áreas de logística e marketing obtido através de decisões racionais usando técnicas de simulação, num cenário caracterizado pelo aumento de competição externa, incertezas econômicas e flutuações do mercado financeiro.

Dentro da perspectiva de tomada de decisão, são abordadas as técnicas de otimização, as heurísticas e a simulação para a resolução de problemas, onde:

- *Otimização* - envolve técnicas de programação matemática a fim de determinar a melhor solução para o problema, onde a função objetivo e suas restrições são expressas em funções matemáticas.
- *Heurísticas* - são regras que direcionam um modelo analítico para sua solução ótima, porém não garantem que este modelo atingirá esta solução pois o número de alternativas possíveis está limitada pelas regras que foram impostas.
- *Simulação* - é uma técnica que envolve a construção de um modelo detalhado do sistema real, onde o analista do sistema pode testar o impacto ocasionado pela mudança de um número limitado de variáveis.

A figura 2.1 mostra um resumo de qual técnica é mais recomendada de acordo com o nível e o tipo de análise a ser realizada.

Figura 2.1 - Seleção de técnica - Fonte: Harrington, Lambert e Sterling (1992)

Analogamente, Pidd (1996) ao abordar diversas formas de modelagem para o processo de decisão, mostra o uso de modelos otimizantes, heurísticas e simulação.

Quanto à simulação computacional, o autor recomendada que a mesma seja usada em sistemas que sejam:

- *Dinâmicos* - onde a variação temporal esteja associada a fatores que não podem ser controlados, mas podem ser determinados por análise estatística;
- *Interativos* - sistemas que possuem componentes que interagem entre si e esta interação afeta o comportamento do sistema;
- *Complicados* - existem inúmeras variáveis que interagem no sistema em questão e sua dinâmica precisa ser considerada e analisada.

Estes sistemas são aplicados em áreas abrangentes como, por exemplo:

- *Manufatura* - utilizada no projeto e implantação de fábricas de produtos com uma gama muito grande de diferenciação na linha de montagem final, as quais visam atender mercados específicos e com demandas variáveis, exigindo um *lead-time* baixo e a não-formação de estoques.

- *Área de Saúde* - a simulação tem tido aplicação no planejamento de utilização racional de recursos limitados (médicos, enfermeiros, equipamentos, postos de atendimento, etc.).
- *Reengenharia dos Processos de Negócios* - a simulação é tida como uma abordagem importante para entender como os processos podem ser reorganizados para melhorar a performance do sistema.
- *Transporte* - a simulação se aplica no sentido de garantir que os sistemas irão operar da maneira mais eficiente e eficaz possível. Aplicações são propostas nas áreas de dimensionamento de terminal, planejamento de sistema de distribuição, controle de tráfego, testes de rotas alternativas, entre outros.
- *Setor de Defesa* - usado em desde estudos logísticos até para simulação de combate.

Com relação à aplicação da simulação em um sistema de manufatura, tem-se na literatura um exemplo descrito por McClelland (1992), o qual se baseou na necessidade de haver uma racionalização e uma eficiente alocação de recursos escassos de uma empresa face à crescente competitividade do mercado mundial. Neste estudo buscou-se integrar o plano estratégico de manufatura (onde se inclui projeto e desenvolvimento do produto, concepção da linha de montagem, número de estágios de produção, processos de manufatura e capacidade de produção) com a política global administrativa da empresa.

A técnica de simulação foi escolhida por ser julgada apropriada para lidar com o caráter dinâmico da produção, com as incertezas existentes em diversos processos e devido à existência de complexas interrelações entre os sistemas.

O estudo caracterizou-se pela modelagem do sistema existente de uma determinada empresa, comparando-o com diversas estratégias de produção, sob diversos cenários de demanda.

Quanto à aplicação na área de saúde, pode-se mencionar o trabalho de Lehaney e Paul (1996) que mostram o emprego da metodologia “soft” para o

desenvolvimento de um modelo de simulação a ser empregado num atendimento de posto de saúde. Embora seja focalizado o emprego desta metodologia na indentificação e modelagem do sistema de saúde, enfatiza-se o uso e a importância da simulação para o planejamento de serviços de saúde e para a avaliação da demanda dos recursos existentes sob uma gama de cenários.

Neste estudo, realizou-se um balanço entre o tempo ocioso dos médicos e o tempo de espera dos pacientes, seguindo a tendência que existe em reduzir ao máximo o tempo ocioso dos médicos, uma vez que isto implica em reduzir a ociosidade dos equipamentos/recursos disponíveis.

Na reengenharia de processos pode-se citar o estudo de Yellig e Mackulack (1996), onde, em primeiro lugar, distinguem-se três abordagens para a reengenharia: 1) Melhorias Funcionais; 2) Reestruturação dos Processos e 3) Repensagem Global. Estas abordagens se diferenciam na abrangência do processo de modificação e na duração do ciclo de reengenharia.

Em seguida, é comparado o uso da simulação numa aplicação em um sistema de manufatura com a sua utilização na reestruturação de um processo. Após a discussão da importância que tem a técnica de simulação para avaliação de cenários/alternativas, mostra-se a dificuldade na modelagem de processos de reengenharia, devido ao fato de:

- Existir dificuldade de se especificar com clareza as metas a serem alcançadas devido à presença do caráter subjetivo;
- Muitas vezes, a reestruturação dos processos ou de uma organização é para lidar com uma condição futura de mercado que é desconhecida;
- Existe uma dificuldade de especificar quais os passos/etapas existentes nas atividades "humanas" de cada processo;
- Há uma variabilidade considerável nos tempos destes processos;
- Não existem dados históricos para orientar/confrontar o estudo de simulação.

Quanto a uma aplicação na área de transportes, é importante ressaltar o estudo desenvolvido por Darzentas e Spyrou (1996), o qual mostra o uso da simulação como uma ferramenta de apoio à decisão, ilustrado no planejamento / gerenciamento do tráfego de *ferries* no mar Egeu (Grécia), onde se busca atender à demanda de transporte entre as ilhas deste arquipélago.

Diversos fatores foram incorporados na modelagem deste problema. O primeiro fator relevante é que o controle das atividades, juntamente com a sede das empresas privadas de transportes está centralizada no porto mais significativo da região (Piraeus) localizado próximo a Atenas. Assim as viagens partem e voltam para este porto, fazendo com que muitas delas sejam um tanto extensas, tendo duração e custos elevados. O segundo fator é a grande sazonalidade da demanda observada nos períodos de inverno e verão, chegando a uma magnitude de 1000% de diferença, causando impacto no tamanho e no número de embarcações necessárias para atender à demanda. Além disso, mesmo no inverno todas as rotas têm que ser mantidas, independente da demanda e da rentabilidade das mesmas, uma vez que serviços básicos têm que ser oferecidos às comunidades locais. Isto obriga ao governo subsidiar o transporte nestes períodos do ano. Enquanto no inverno as empresas de navegação lutam por obter as rotas com maior subsídio, nas altas estações estas lutam pelas mais rentáveis. Outro fator que influencia as operações são as condições climáticas que afetam grandemente os tempos das viagens. E por último, a infraestrutura nas ilhas varia significativamente, limitando o tamanho permitido das embarcações.

O problema resolvido é a avaliação da adequabilidade das rotas e itinerários existentes, assim como a avaliação de novos cenários de transporte, incluindo mudança tecnológica das embarcações e mudança nos recursos disponíveis, tais como capacidade e eficiência dos portos.

A técnica de simulação foi adotada por permitir tratar um problema complexo, dotado de caráter dinâmico e com múltiplas variáveis influenciando o processo, onde se buscava avaliar diversos cenários.

2.2.2 - O Processo da Simulação

Pesquisou-se na literatura técnica, em primeiro lugar, princípios que orientassem o processo de modelagem, uma vez que isto é tido como uma "arte", ou "consequência de um processo intuitivo, o qual é raramente explicitado ou explicado" conforme mostra Morris (1967). Este autor, contudo, indica uma série de diretrizes que norteiam o processo de desenvolvimento de modelos:

1. Utilizar um processo de elaboração - sugere-se iniciar com modelos bem simplificados e evoluir para sistemas complexos. Nestes modelos iniciais fatalmente serão omitidos aspectos de maior dificuldade e as soluções encontradas serão subotimizadas.
2. Utilizar analogias ou associações com modelos previamente desenvolvidos para ter em mãos um ponto de partida para o processo de elaboração. Às vezes, a busca por analogia conduz a estruturas mais gerais, como as equações diferenciais ou a teoria da probabilidade, ou estruturas mais específicas e desenvolvidas tais como o teoria de filas.
3. Utilizar um processo recursivo (*loopings*), que pode ser feito de 2 formas:
 - alternar modificações no modelo x confrontação dos dados - algo que garante que o modelo não fica pronto na primeira vez;
 - alternar a estrutura do modelo x as premissas que o caracterizam - o objetivo é verificar que: se o modelo não permite alterações por ser muito complicado, então as premissas têm que ser revistas. Com isto evita-se que já se apele para a técnica de simulação sem que muitas tentativas já tenham sido feitas.

Estas sugestões podem ser operacionalizadas da seguinte forma:

1. Dividir o sistema em problemas mais simples - quando isto ocorre, surgem diversas soluções que são subótimas ou aproximadas do ponto de vista do modelo do sistema;

2. Estabelecer os objetivos de maneira clara - neste modelo busca-se prever o resultado de várias políticas? Necessariamente tem que fornecer a solução ótima?;
3. Buscar analogias - a possibilidade do uso de uma analogia tem que ser considerada antes que o problema tenha sido bem definido, uma vez que estas podem direcionar o caminho em que o problema poderia se tornar mais específico;
4. Considerar exemplos numéricos específicos do problema - escrever ou levantar alguns exemplos numéricos ajudam a entender a lógica do modelo;
5. Estabelecer símbolos ou variáveis;
6. Escrever o óbvio - escrever em primeiro lugar, as equações que parecem ser óbvias. Nunca omitir qualquer uma delas;
7. Se o modelo está muito complexo, simplifique-o, usando as seguintes formas:
 - a) tornar as variáveis em constantes;
 - b) eliminar variáveis;
 - c) usar relações lineares;
 - d) adicionar restrições e outras premissas;
 - e) suprimir a aleatoriedade;

Isto porque o objetivo real da análise de sistemas não é simplesmente estudar cada vez mais maiores problemas, mas sim achar maneiras de transformar grandes problemas em menores, de forma que as soluções destes pequenos possam ser combinados de alguma forma fácil, visando fornecer as soluções de grandes problemas.

Uma vez indicado alguns princípios para o desenvolvimento de modelos, buscou-se na literatura a modelagem e a construção de experimentos utilizando simulação.

O primeiro autor pesquisado, Pegden et al. (1995), mostra que a simulação é o processo de elaborar um modelo de um sistema real e conduzir

experimentos, com o propósito de compreender o comportamento do sistema e/ou avaliar várias estratégias para a operação do mesmo.

A simulação tem que ter como objetivo a descrição do comportamento de sistemas; a construção de teorias ou hipóteses que explicam o comportamento observado; o uso do modelo para prever um comportamento futuro (efeitos produzidos por mudanças no sistema ou na sua forma de operar).

Para isso, faz-se necessário o uso da abordagem sistêmica pois a mesma procura considerar o desempenho total do sistema e não se concentrar nas partes. Isto se baseia no fato de que mesmo que cada elemento ou subsistema esteja otimizado do ponto de vista de dimensionamento, projeto ou operação, o desempenho global do sistema pode estar subotimizado devido às interações entre as partes.

Como benefícios do uso da simulação como ferramenta de apoio à decisão, o autor indica que:

- podem ser testadas novas políticas, procedimentos operacionais, tomadas de decisão, estruturas organizacionais, fluxos de informações, etc.; ou seja, podem ser avaliadas novas estratégias sem comprometer ou intervir nas operações presentes;
- novos arranjos físicos numa linha de montagem como também novos sistemas de transportes podem ser testados antes do emprego de recursos para a sua aquisição e/ou a sua implantação;
- podem ser testadas diversas hipóteses sobre como ou porque certos fenômenos ocorrem, buscando sempre a viabilidade do sistema;
- o tempo pode ser controlado, expandindo-o ou comprimindo-o, de forma a acelerar ou não um fenômeno para estudo;
- são identificados os gargalos do sistema;
- ganha-se compreensão de quais variáveis são mais importantes para o desempenho e como estas variáveis interagem;
- um estudo de simulação permite comparar como um sistema concebido opera, confrontando-o com o que se pensa a respeito deste sistema;

- é possível realizar análises do tipo "*what-if*"; ou seja, analisar diversas situações, cenários e a robustez dos parâmetros do sistema em estudo.

Como desvantagens tem-se que:

- a simulação requer um treinamento especializado, uma vez que a qualidade da análise depende da qualidade do modelo e da qualidade do analista;
- os dados de saída podem ser de difícil interpretação, pois uma vez que o modelo está buscando capturar a aleatoriedade do sistema real, é geralmente difícil determinar se o resultado de um processamento é devido às interações presentes no sistema, ou se é devido à aleatoriedade imbutida no modelo.

Ainda o mesmo autor propõe um conjunto de passos a serem adotados no desenvolvimento de estudos de simulação para que este seja feito de forma eficiente:

1. *Definição do Problema* - é a etapa onde ocorre uma definição clara das metas do estudo, por que se está estudando este problema e quais respostas buscam-se encontrar;
2. *Planejamento do Projeto* - busca-se nesta fase verificar a existência de recursos físicos, humanos e técnicos para a execução do projeto;
3. *Definição do Sistema* - é a etapa onde ocorre a determinação das fronteiras e das restrições a serem usadas na definição do sistema bem como uma investigação como o sistema funciona;
4. *Formulação Conceitual do Modelo* - é uma etapa onde se desenvolve um modelo preliminar de forma gráfica (por exemplo, diagrama de blocos) ou já em um pseudo-código, para definir os componentes, as variáveis e as interações lógicas que constituem o sistema;
5. *Projeto Experimental Preliminar* - consiste na seleção das medidas de eficiência que serão empregadas, os fatores a serem variados e quais dados precisam ser colhidos do modelo, de que forma e em que extensão;
6. *Preparação dos Dados de Entrada* - consiste na identificação e coleta dos dados necessários pelo modelo;

7. *Tradução do Modelo* - é a formulação do modelo em uma linguagem de simulação apropriada;
8. *Verificação e Validação* - é uma das etapas essenciais do processo e que consiste na confirmação de que o modelo opera da forma que o analista pretendia e que a saída do modelo é confiável e representativa de um sistema real. A verificação busca mostrar que o programa computacional se desempenhou como esperado e pretendido, fornecendo, desta forma, uma correta representação lógica do modelo. A validação, por outro lado, estabelece que o comportamento do modelo representa de forma válida, o sistema do mundo real que está sendo simulado.
9. *Projeto Final Experimental* - consiste em projetar experimentos que irão gerar as informações desejadas e determinar como cada uma das "corridas" especificadas no projeto serão executadas;
10. *Experimentações* - consiste em executar a simulação para gerar os dados desejados e realizar análises de sensibilidade;
11. *Análise e Interpretação* - consiste em realizar inferências sobre os dados obtidos pela simulação;
12. *Implementação e Documentação* - é a disponibilização e aplicação dos dados utilizados e dos resultados obtidos, além de uma documentação do modelo e de seu uso.

Balci (1997) descreve uma importante forma de modelagem que pode ser considerada como interativa. Este método, que será descrito a seguir, faz parte de 15 princípios básicos para a Validação, Verificação e Teste (VV&T) de modelos de simulação:

1. Os processos de verificação, validação e testes devem ser conduzidos durante todo o ciclo de vida de um estudo de simulação.

VV&T não é uma fase ou um passo independente no ciclo de vida de um estudo de simulação mas uma atividade interativa que ocorre ao longo de todo o processo. O risco de conduzir testes de VV&T pela primeira vez ao final do ciclo de vida quando um modelo experimental já se encontra pronto, é a possibilidade de se deixar passar possíveis deficiências ao longo de cada uma das etapas. Estas etapas podem

ser hierarquizadas de diversas formas. Balci propôs a estrutura esquematizada na figura 2.2.

Os testes aplicados nesta estrutura podem ser estratificados em 5 níveis, a saber:

Nível 1 - Testes Particulares - realizados pelo próprio analista de forma informal;

Nível 2 - Testes em Módulos do Submodelo - realizados em cada submodelo, considerados de forma independente, onde são testados diversos cenários para as variáveis de entrada, analisando-se as saídas. Recomenda-se documentar cada teste rigorosamente para futuras análises e comparações;

Nível 3 - Testes de Integração - objetiva garantir que não existem inconsistências nas interfaces e na comunicação entre os submodelos quando estes são combinados de forma a compor o modelo.

Nível 4 - Teste do Produto (Modelo) - visa validar globalmente o comportamento do modelo.

Nível 5 - Teste de Aceitação Final - visa estabelecer credibilidade suficiente no modelo de tal forma que este possa ser aceito e utilizado pelo cliente.

Figura 2.2 - Estrutura Hierarquizada para os processos de verificação e validação
Fonte: Balci (1997)

2. Os resultados de um processo de VV&T de modelos de simulação não devem ser considerados absolutamente certos ou absolutamente errados.

Balci alerta para o fato de um modelo dificilmente conseguir representar perfeitamente a realidade, uma vez que se trata da abstração de um sistema. Os resultados parciais de VV&T devem direcionar a continuidade do desenvolvimento do modelo. Contudo, o grau de utilização de um modelo é influenciado pelo grau de credibilidade do mesmo, conforme pode ser observado na figura 2.3.

Figura 2.3 - Grau de Credibilidade do modelo de simulação - Fonte: Balci (1997)

3. Um modelo de simulação é construído de acordo com os objetivos do estudo e sua credibilidade deverá ser julgada de acordo com estes objetivos.

Deve-se lembrar que os objetivos do estudo é que ditam o nível de representação do modelo, ou o grau de agregação (detalhamento) adotado.

4. A execução de VV&T em modelos de simulação requer independência para evitar enviesamento por parte do analista.

Os testes em modelos só são significativos se executados por pessoas externas ao processo. Como resultados negativos podem interferir na avaliação de desempenho do analista ou da empresa contratada para a realização do projeto, estes preferem acompanhar os testes, enviesando os resultados.

5. A VV&T em modelos de simulação é difícil e requer criatividade e visão.

Para uma avaliação precisa, é necessário compreender todo o modelo de simulação para projetar e implementar testes que sejam eficientes e adequados ao problema. Além disso, é imprescindível ter domínio do problema, expertise em modelagem e em técnicas de VV&T.

6. A credibilidade de um modelo de simulação pode ser avaliada apenas dentro das condições para o qual o modelo é testado.

As condições prescritas para as quais a credibilidade do modelo tem sido estabelecidas constituem o chamado "domínio de aplicabilidade" do modelo experimental de simulação. Portanto apenas pode-se avaliar a credibilidade de um modelo se o cenário simulado se enquadra dentro do escopo ditado pelo domínio de aplicabilidade.

7. Não é possível um teste completo em modelos de simulação.

Uma checagem exaustiva requer testar todas as possíveis combinações de valores de todas as variáveis de entrada, o que poderia gerar milhares de caminhos percorridos internamente no modelo, comprometendo as restrições de tempo e orçamentária de execução do projeto. Portanto, na etapa de execução de testes, é imprescindível acompanhar a evolução dos resultados do modelo, face às diversas entradas, para saber os objetivos estão sendo atendidos qualitativamente. Já a quantidade de testes necessários e quando parar estes testes depende do domínio de aplicabilidade desejado do modelo e este, por sua vez, é função dos objetivos do estudo de simulação. Os dados para simular podem ser gerados utilizando: valores aleatórios; valores determinísticos; valores mínimos para todas as variáveis de entrada; valores máximos para todas as variáveis de entrada; combinação de valores mínimos e máximos para todas as variáveis de entrada; valores inválidos e valores já simulados.

8. A VV&T em modelos de simulação tem que ser planejada e documentada.

Conforme já explicitado, os testes não são uma atividade isolada dentro do processo de simulação, mas sim uma atividade contínua através de todo o ciclo de vida de um estudo. Desta forma, estes têm que estar devidamente planejados, identificados, programados e acima de tudo documentados.

9. Erros Tipo I, II e III têm que ser prevenidos.

Três tipos de erros podem ser cometidos durante a execução de um estudo de simulação; são mostrados na figura 2.4.

Figura 2.4 - Tipos de Erros possíveis num estudo de Simulação
Fonte: Balci (1997)

Erro Tipo I (*Model Builder's Risk*) - acontece quando os resultados são rejeitados quando, de fato, eles são válidos;

Erro Tipo II (*Model User's Risk*) - acontece quando resultados inválidos são aceitos como se fossem suficientemente válidos;

Erro Tipo III - acontece quando se resolve o problema errado e seus resultados são aceitos, apesar do problema formulado não refletir, na realidade, o problema real.

10. Os erros devem ser detectados o quanto antes num ciclo de vida de um estudo de simulação.

Isto deve ser uma meta a ser buscada, visando eliminar o retrabalho. Outro fator complicador é a possível influência de uma alteração em um estágio inicial, em etapas do estudo de simulação mais avançadas.

11. Um problema com múltiplas respostas deverá ser observado e analisado adequadamente.

Um modelo com múltiplas variáveis de resposta não poderá ser validado comparando o valor correspondente da variável de saída do modelo e do sistema isoladamente utilizando um método estatístico univariado. Um procedimento estatístico multivariado deverá ser utilizado para incorporar a correlação entre as variáveis de saída para uma comparação.

12. Testes bem sucedidos nos submodelos não implicam na credibilidade do modelo como um todo.

Apesar de individualmente estarem validados, o modelo só estará completamente validado quando o mesmo estiver testado com todas as parte integradas e interagindo entre si.

13. O problema de dupla validação tem que ser identificado e ser resolvido adequadamente.

O problema de dupla validação ocorre quando existem dados disponíveis sobre a entrada e a saída de um sistema real e, dessa forma, procura-se comparar estes valores com os resultados de uma simulação. Nesta ocasião surge o problema de dupla validação que consiste, em primeiro lugar, garantir que os dados de entrada de

ambos os sistemas (real e modelado) são equivalentes, para depois se validar os resultados obtidos.

14. A validação de um modelo de simulação não garante a credibilidade e a aceitação dos resultados da simulação.

A validação de um modelo de simulação é uma condição necessária mas não suficiente para a aceitação dos resultados da simulação. Isto porque a validação tem que ser feita em relação aos objetivos do estudo de simulação, comparando o modelo e o sistema como foram definidos. Se os objetivos foram identificados incorretamente ou o sistema foi definido de forma incorreta, o modelo poderá ser válido em relação a estas especificações, contudo inválido com relação ao sistema real.

15. A precisão com que o problema foi formulado afeta grandemente a aceitação e a credibilidade dos resultados da simulação.

Ainda segundo Balci, o objetivo maior da simulação não é apenas produzir a solução para um problema, mas fornecer uma solução que tenha suficiente credibilidade e aceitação e seja implementada pela equipe responsável por tomadas de decisão. Também alega que a responsabilidade pela aceitação e uso do modelo acaba recaindo principalmente sobre a equipe de desenvolvimento e que esta aceitação é função da precisão da formulação do modelo. Por sua vez, a formulação é função direta da definição do problema, bem como da participação do usuário final na definição do problema.

2.2.3 - Simulação em Sistemas de Transporte

Como referência de escolha da simulação como metodologia a ser aplicada no planejamento/dimensionamento de sistemas de transporte, pode-se citar, em primeiro lugar, o trabalho desenvolvido por Chowdhury (1989) o qual propõe a simulação como sendo ferramenta ideal para estudar sistemas grandes, complexos, onde ocorrem interações entre atividades, que dificultam a modelagem analítica.

Além disso, este autor mostra que usar valores médios (que designou de "estáticos") para análise de sistemas de transportes marítimos pode induzir a conclusões errôneas, uma vez que o sistema real é dotado de flutuações e variações randômicas. Além disso, argumenta a importância de testar a influência da interação de diversos fenômenos de caráter aleatório.

Botter et al. (1988) também ilustra o emprego da técnica da simulação probabilística para o dimensionamento de um sistema integrado de transporte de álcool e óleo diesel na hidrovia Tietê-Paraná. Os modais foram modelados de maneira independente, sendo que ocorre uma interação dos mesmos junto aos terminais intermodais. Além disso, novos cenários para o transporte dos produtos mencionados são testados, buscando a aderência de cada cenário à realidade observada na hidrovia. Para tanto os tempos de viagem são oriundos de distribuições probabilísticas e as eclusas são simuladas de tal forma a ter um índice de congestionamento compatível com a realidade.

Cochran e Lin (1989) empregaram a técnica de simulação probabilística para auxiliar o desenvolvimento de um *master plan* de transporte de carga por rodovia no estado de Arizona (EUA). Alegando o caráter dinâmico, complexo e de larga-escala do problema, estes pesquisadores optaram pela simulação. Após ter levantado um retrato estatístico do fluxo observado na malha estadual, a simulação foi empregada para avaliar o aumento do fluxo em determinados

elos da malha e o seu impacto em relação aos tempos de viagem, formação de novos gargalos, etc. no restante da malha.

Hameri e Paatela (1995) empregaram a simulação para modelar um sistema de cadeia de suprimento que abrange diversos aspectos como a demanda dos clientes finais, medidas de desempenho econômico, restrições físicas do fluxo de materiais, etc. O modelo é empregado para avaliar cenários alternativos de operação do sistema, tais como:

- diferentes lotes/frequência de entrega de matéria-prima e produto acabado;
- meios de transporte alternativos e sua influência no custo global de frete;
- flutuações na demanda e seu impacto nos prazos de entrega;
- melhorias nos *lead-times* e seu impacto na performance logística global do sistema;
- impacto do atraso dos fornecedores no desempenho do sistema.

Em um estudo semelhante, Moynihan et al. (1995) mostram que o objetivo global do planejamento logístico estratégico, dado um certo nível de serviço, é a minimização do custo relativo à movimentação e armazenagem do fluxo de produtos desde o fornecedor da matéria-prima até o consumidor final.

Para isto foi desenvolvido um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) para planejamento logístico a um nível estratégico e operacional, utilizando a técnica de simulação e abrangendo os seguintes aspectos:

- determinação dos custos de marketing e distribuição;
- otimização do sistema de distribuição buscando obter o menor custo global;
- realização de testes de cenários para avaliar mudanças no sistemas de distribuição;
- realização de análises de rentabilidade global do sistema.

Neste estudo, a simulação foi definida como “descrição matemática detalhada de um problema de decisão” e aplicada visando “replicar a dinâmica de um sistema existente ou planejado, em detrimento de se buscar sua solução ótima”.

Keefer (1996) empregou a técnica da simulação probabilística na avaliação do transporte e da movimentação de materiais na bacia petrolífera do Mar Cáspio próximo a Baku (Azerbaijão). Este estudo foi de extrema importância para um planejamento de operação neste campo.

Nersesian e Swartz (1996) mostram o emprego da simulação em sistemas logísticos motivados principalmente pelo caráter aleatório dos processos. Propõem modelos de simulação para decisões como capacidade de armazens, número de baias em armazens, quantidade de veículos a incorporar na frota, determinação de frota de navios atendendo a uma demanda variável, etc.

Por último, Crainic e Laporte (1997) publicaram uma revisão de modelos matemáticos empregados no planejamento de transporte de cargas. Esta compilação, que foi feita para os níveis de planejamento estratégico, tático e operacional, mostra a simulação como ferramenta chave para avaliação e dimensionamento de um serviço de transporte, quando considerado em seu nível tático. A importância da simulação é ressaltada pela possibilidade de realização de análises do tipo "what-if" para as questões levantadas durante o planejamento estratégico, como também por ser a ferramenta que dará subsídios para elaboração do "plano de transporte", ou seja, indicará as políticas que irão nortear a operação do dia a dia.

2.2.4 - Custos

2.2.4.1 - Formação do Custo do Transporte Fluvial

A estrutura ou formação do custo de transporte fluvial será baseada na metodologia descrita por Pires Jr. (1989). Embora esta tenha sido desenvolvida dentro do enfoque de transporte marítimo, a mesma será aplicada também ao transporte fluvial, com as devidas modificações.

O custo total do navio pode ser dividido por três parcelas: custo de capital, custo operacional e custo de viagem.

O custo de capital se refere aos encargos relativos à propriedade da embarcação. O custo operacional abrange todas as despesas para manter a embarcação disponível para operar, onde pode ser citado o seu seguro, os custos de manutenção, os salários com a tripulação, etc. Já o custo de viagem se refere aos custos advindos da embarcação estar navegando. As principais parcelas são referentes ao consumo de combustível e à passagem por eclusas, canais, etc.

Os custos envolvidos nesta estrutura serão convertidos para uma base diária. No caso do transporte fluvial, isto deve-se ao fato de a frota de embarcações ser fixa dentro de um cenário. Desta forma, o rateio dos custos fixo de capital e operacional não variará dinamicamente com o número de embarcações ao longo do tempo, mas sim com o número de dias de operação anual para um determinado cenário.

Antes de explicitar todos os componentes de custo da embarcação, serão mostrados os parâmetros necessários para calculá-los na tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Parâmetros da Planilha de Custo de Transporte Fluvial

Parâmetros Estáticos
Número de empurradores
Número de chatas
Custo de aquisição empurrador (R\$)
Custo de aquisição chatas (R\$)
Taxa retorno capital (%)
Imposto de renda (%)
Valor residual / custo aquisição
Vida útil empurrador (anos)
Vida útil chatas (anos)
Capacidade carga comboio (t)
Velocidade média comboio (nós)
Potência instalada motor (hp)
Custo do combustível (R\$/l)
Custo do lubrificante (R\$/l)
Consumo específico combustível (kg/hp/h)
Consumo específico lubrificante (kg/hp/h)
Peso específico combustível (kg/l)
Peso específico lubrificante (kg/l)
Taxa seguro anual empurrador (%)
Taxa seguro anual chatas (%)
Percentual custo manutenção empurrador (%)
Percentual custo manutenção chatas (%)
Número de tripulantes
Salário total tripulação (R\$)
Encargos sociais (%)
Distância entre portos (Mn)
Custo de alimentação diário por tripulante (R\$)
Taxa de Travessia de Eclusa - Tietê (R\$/t)
Taxa de Travessia de Canais (R\$/t)
Taxa Lucro (%)
Parâmetros Dinâmicos
Dias de operação por ano (dias)
Fator utilização potência motor (%)
Número de viagens
Total de carga transportada no período (t)

Os parâmetros acima foram divididos em estáticos e dinâmicos pois os primeiros não variam com o número de viagens (produção da frota). Já a segunda classe de parâmetros indica qual foi a produtividade das embarcações e também fornece subsídios para que o custo de viagem seja avaliado.

O modelo econômico a ser desenvolvido passa a ser uma poderosa ferramenta de análise, uma vez que não só diversos cenários de operação podem ser testados, como também o custo de transporte pode a qualquer momento ser recalculado a partir da variação em alguns de seus itens. Este conceito é o mesmo da análise de sensibilidade, onde a partir de uma solução ótima estuda-se até que extensão uma variação nos valores das variáveis de decisão mantém ou não a solução em seu nível ótimo.

A seguir serão detalhados cada item de custo e a forma como estes são calculados.

Custo de Capital

Qualquer investimento pressupõe um retorno ou remuneração mínima do capital empregado. Essa parcela, associada ao capital, constitui o "custo de oportunidade". Investir em um determinado bem significa perder a oportunidade de realizar outro investimento menos arriscado, ou seja, optar por uma menor remuneração, porém com menor risco (Mercedez, 1992).

Abaixo mostra-se a formulação para determinação do custo de capital. Foi utilizada o método dos equivalentes uniformes anuais do fluxo de caixa (sistema Price), onde:

- I - investimento total inicial para a aquisição da frota (R\$)
- V_a - valor atual após o término do período de carência (R\$)
- C_a - custo de capital anual (R\$)
- C_{ad} - custo de capital diário (R\$)
- S - valor residual (R\$)
- r - período de carência (anos)
- n - período de financiamento (anos)
- i - taxa de remuneração do capital (%)

Fluxo de caixa:

Investimento Total:

$$I = (\text{Núm_Emp} \times \text{Custo_Emp}) + (\text{Núm_Chata} \times \text{Custo_Chata}) \quad [\text{R\$}]$$

Valor Atual após o Período de Carência:

$$V_a = I \cdot (1+i)^r - S \cdot \frac{1}{(1+i)^{(n-r)}} \quad [\text{R\$}]$$

Custo de Capital Anual:

$$C_a = V_a \cdot \frac{i \cdot (1+i)^{(n-r)}}{(1+i)^{(n-r)} - 1} \quad [\text{R\$/ano}]$$

Custo de Capital Diário:

$$C_{ad} = \frac{C_a}{\text{Ano_Operacional}} \quad [\text{R\$/dia}]$$

Custos de Viagem

Estes custos são decorrentes do fato da embarcação estar navegando. Os principais itens são o consumo de combustível e lubrificantes, e as taxas pagas devido à passagem da embarcação por canais e eclusas.

Consumo de Combustíveis - Este item tem uma importância especial, pois além de depender das características da embarcação, como por exemplo, potência (que depende das características geométricas e da velocidade) e consumo específico, ele é função direta do preço do óleo, conforme a formulação abaixo:

$$\text{Comb 1} = \text{Pot. Instalada} \times \left(\frac{\text{Consumo Esp. Combust.}}{\text{Peso Esp. Combust.}} \right) \times \text{Custo Combustível} \times 24 \quad [\text{R\$/dia}]$$

$$\text{Combustível} = \text{Núm_Emp} \times \text{Fator Utilização Motor} \times \text{Comb 1} \quad [\text{R\$/dia}]$$

Consumo de Lubrificantes - Este item possui a mesma estrutura de cálculo que o consumo de combustível. Dessa forma:

$$\text{Lubr 1} = \text{Pot. Instalada} \times \left(\frac{\text{Consumo Esp. Lubr.}}{\text{Peso Esp. Lubr.}} \right) \times \text{Custo Lubrificante} \times 24 \quad [\text{R\$/dia}]$$

$$\text{Lubrificante} = \text{Núm_Emp} \times \text{Fator Utilização Motor} \times \text{Lubr 1} \quad [\text{R\$/dia}]$$

Taxas de Passagens por Canais e Eclusas - Este item de custo é função direta do número de viagens realizada pela frota durante o ano operacional. Cabe lembrar que no rio Tietê, a embarcação só pagará a taxa por utilização da eclusa se a mesma estiver carregada.

$$\text{Taxas 1} = \frac{\text{Núm. Viagens Redondas} \times \text{Soma Tarifas Passagem Canais} \times 2}{\text{Ano_Operacional}} \quad [\text{R\$/dia}]$$

$$\text{Taxas 2} = \frac{\text{Total Carga Transportada} \times \text{Tarifa Eclusagem} \times 5}{\text{Ano_Operacional}} \quad [\text{R\$/dia}]$$

$$\text{Taxas} = \text{Taxas 1} + \text{Taxas 2} \quad [\text{R\$/dia}]$$

Custos Operacionais

Conforme já dito, estes custos são aqueles necessários para manter a embarcação disponível para operar. Os itens que compõem esta classe são:

Custo de Depreciação - A depreciação é uma forma de custo *contábil* do desgaste das máquinas, equipamentos, veículos, etc., entrar no custo do produto ou do serviço, diminuindo os lucros contábeis e, conseqüentemente, o imposto de renda a pagar. As regras para a depreciação de bens obrigatoriamente segue a legislação vigente, que admite como regra geral uma depreciação de 10% ao ano em 10 anos (linha reta).

$$\text{Depr 1} = \frac{(1 - \text{Fracao_Valor Residual}) \times \text{Custo_Emp}}{\text{Vida_Emp}} \quad [\text{R\$/ano}]$$

$$\text{Depr 2} = \frac{(1 - \text{Fracao_Valor Residual}) \times \text{Custo_Chata}}{\text{Vida_Chata}} \quad [\text{R\$/ano}]$$

$$\text{Custo Depreciação} = \frac{(\text{Depr 1} \times \text{Núm_Emp}) + (\text{Depr 2} \times \text{Núm_Chatas})}{\text{Ano_Operacional}} \quad [\text{R\$/dia}]$$

Este custo de depreciação é utilizado no cálculo do valor base do imposto de renda, ou seja, determinada a margem bruta antes do imposto de renda, abata-se deste o valor da depreciação, para a aplicação da alíquota do imposto de renda pessoa jurídica, resultando no lucro líquido após o imposto de renda. As planilhas de custo apresentada no anexo II seguem este procedimento.

Seguro do Casco - É calculado como uma porcentagem do valor da aquisição da embarcação, conforme formulação abaixo:

Valor do Seguro do Empurrador:

$$\text{Seg 1} = (\%_ \text{Seguro_Emp} \times \text{Custo_Emp}) \quad [\text{R\$/ano}]$$

Valor do Seguro da Chata:

$$\text{Seg 2} = (\%_ \text{Seguro_Chata} \times \text{Custo_Chata}) \text{ [R\$/ano]}$$

Valor total do Seguro em base diária:

$$\text{Seguro} = \frac{(\text{Seg 1} \times \text{Núm_Emp}) + (\text{Seg 2} \times \text{Núm_Chatas})}{\text{Ano_Operacional}} \text{ [R\$/dia]}$$

Manutenção, Reparos e Docagens - Analogamente ao seguro, este custo é calculado como uma porcentagem do valor da aquisição da embarcação, conforme formulação abaixo:

Custo de Manutenção, Reparos e Docagens do Empurrador:

$$\text{Manut 1} = (\%_ \text{Manut_Emp} \times \text{Custo_Emp}) \text{ [R\$/ano]}$$

Custo de Manutenção, Reparos e Docagens da Chata:

$$\text{Manut 2} = (\%_ \text{Manut_Chata} \times \text{Custo_Chata}) \text{ [R\$/ano]}$$

Custo Total de Manutenção, Reparos e Docagens em base diária:

$$\text{Manutenção} = \frac{(\text{Manut 1} \times \text{Núm_Emp}) + (\text{Manut 2} \times \text{Núm_Chatas})}{\text{Ano_Operacional}} \text{ [R\$/dia]}$$

Custo de Alimentação da Tripulação - Baseado no valor do custo diário de alimentação por tripulante e na premissa de 365 dias de trabalho para a tripulação, chegou-se à seguinte fórmula:

$$\text{Alimentação} = \frac{\text{Núm_Emp} \times \text{Tripulação} \times \text{Custo_Alimentação} \times 365}{\text{Ano_Operacional}} \text{ [R\$/dia]}$$

Salários - Soma-se neste item o valor da folha de pagamento mensal por empurrador, acrescido dos encargos sociais. Este item também é convertido para uma base diária.

$$\text{Salários} = \frac{\text{Núm_Emp} \times (\text{Folha Pagto Mensal} / 30) \times (1 + \% \text{ Encargos Sociais}) \times 365}{\text{Ano_Operacional}} \quad [\text{R\$/dia}]$$

Diversos - Esta categoria se refere a outros custos que existem na operação e manutenção básica de uma embarcação. São de natureza secundária, como por exemplo, materiais de bordo. O custo desta categoria de materiais é avaliado empiricamente por cada empresa, não havendo regra geral para o seu cálculo. Para o caso da estrutura de custos elaborada, utilizou-se:

$$\text{Diversos} = 2 \times \text{Custo Alimentação} \quad [\text{R\$/dia}]$$

Custos Administrativos - Analogamente à categoria de "diversos", esta classe de custos também não tem forma definida de cálculo. Contudo, a inclusão do custo administrativo no custo operacional é amplamente justificado pela infraestrutura administrativa necessária para viabilizar as atividades de transportes. Fica, portanto, a critério de cada empresa indicar a forma de rateio de seus custos administrativos, como também a forma de incluí-lo no custo de transporte. Sugere-se uma formulação que foi extraída de contatos com um armador fluvial.

$$\text{Administrativo} = 10\% \times \left(\frac{\text{Depreciação} + \text{Seguro} + \text{Manutenção} + \text{Alimentação} +}{\text{Salários} + \text{Diversos} + \text{Combustível} + \text{Lubrificantes}} \right) \quad [\text{R\$/dia}]$$

2.2.4.2 - Formação do Custo do Transporte Ferroviário

A forma de cálculo de fretes do modal ferroviário foge da forma convencional usada para os modais rodoviar e hidroviário devido à própria forma que este sistema opera. Em face das privatizações das malhas ferroviárias do Estado de São Paulo e também de outros estados, as operadoras que passaram a ter controle total da operação, sendo remuneradas ofertando o serviço de tração. As tarifas variam de acordo com os tipos de carga, e principalmente, em função do volume e da distância.

Uma empresa interessada em usar o modal ferroviário terá que especificar a frequência de requisição do serviço de tração e, para qual volume de carga. Algumas empresas possuem vagões próprios, enquanto outras utilizam os da própria operadora ferroviária.

Portanto, para o cômputo do custo do transporte ferroviário na conta global de um sistema intermodal de transportes, deverão ser informados as tarifas praticadas na região e os volumes transportados. A planilha permite testar o impacto de variações ao redor deste valor, caso haja oscilações neste mercado. Dessa forma não se faz necessário o detalhamento da formação da tarifa ferroviária, pois a mesma é fechada e restrita à operadora ferroviária.

2.2.4.3 - Formação do Custo do Transporte Rodoviário

No modal rodoviário opta-se, muitas vezes, pelo mercado de terceiros, que vendem os seus serviços mediante uma tarifa pré estipulada, que é função do tipo da carga, da distância e do volume. Este fato é bem marcante, por exemplo, no transporte de grãos. Neste caso, trata-se de uma atividade altamente irregular e inconstante ao longo do ano, principalmente devido à existência do período de entre safras.

Ao se contratar o serviço de terceiros paga-se uma tarifa fechada por viagem, que possui uma variação sazonal. Mas, como também pode existir o

caso de estar sendo utilizado frota própria (ou cativa) na ponta rodoviária, optou-se por detalhar a estrutura de custos para este modal.

Fundamentalmente a estrutura de custos é a mesma do modal hidroviário. Contudo, será empregada uma nomenclatura diferente, além de alguns itens serem pertinentes apenas a este modal. A seguir tem-se na tabela 2.3 a lista de parâmetros para a formação do custo.

Tabela 2.3 - Parâmetros da Planilha de Custo de Transporte Rodoviário

Parâmetros Estáticos
Número de conjuntos (cavalo mecânico + carreta)
Custo de aquisição do conjunto (R\$)
Taxa retorno capital (%)
Imposto de renda (%)
Valor residual / custo aquisição
Vida útil conjunto (anos)
Número de pneus
Vida útil do pneu (km)
Preço pneu novo (R\$)
Vida útil do pneu reformado (km)
Preço da reforma (R\$)
Capacidade carga (t)
Custo do combustível (R\$/l)
Custo do lubrificante (R\$/l)
Consumo específico combustível (kg/hp/h)
Consumo específico lubrificante (kg/hp/h)
Peso específico combustível (kg/l)
Peso específico lubrificante (kg/l)
Taxa seguro anual (%)
Percentual custo manutenção (%)
Número de motoristas por conjunto
Salário por motorista (R\$)
Encargos sociais (%)
Custo de alimentação diário (R\$)
Taxa Lucro (%)
Parâmetros Dinâmicos
Número de viagens
Total de carga transportada no período (t)

Custos de Fixo de Capital

Em primeiro lugar será abordado o custo fixo de capital, o qual é função do valor investido, da taxa de remuneração do capital, do período de financiamento, do período de carência (se houver) e do valor residual.

- I - investimento total inicial para a aquisição dos caminhões (R\$)
- V_a - valor atual após o término do período de carência (R\$)
- C_a - valor do pagamento mensal (R\$)
- S - valor residual (R\$)

- r - período de carência (meses)
- n - período de financiamento (meses)
- i - taxa de remuneração do capital anual (%)
- i_m - taxa de remuneração do capital mensal (%)

Fluxo de caixa:

Investimento Total:

$I = \text{Custo Cavalo Mecânico} + \text{Custo Carreta}$ [R\$]

Taxa de Remuneração de Capital Mensal:

$$i_m = (1+i)^{1/12} - 1$$

Valor Atual após o Período de Carência:

$$V_a = I \cdot (1+i_m)^r - S \cdot \frac{1}{(1+i_m)^{(n-r)}} \quad [\text{R\$}]$$

Custo de Capital Mensal:

$$C_a = V_a \cdot \frac{i_m (1+i_m)^{(n-r)}}{(1+i_m)^{(n-r)} - 1} \quad [\text{R\$/mês}]$$

Custos Fixos Operacionais

Esta classe de custos diz respeito aos itens que deverão ser cobertos independentemente do veículo estar rodando ou não. Ou seja, são itens que viabilizam/disponibilizam ou veículo para rodar.

Custo de Depreciação - Este custo é apenas *contábil*, referente ao desgaste e/ou obsolescência dos veículos, etc. Esta parcela servirá para diminuir os lucros contábeis e, conseqüentemente, o imposto de renda a pagar. Análogamente ao ocorrido com as embarcações, admite-se como regra geral uma depreciação de 10% ao ano em 10 anos (linha reta).

$$\text{Depreciacao} = \frac{(1 - \text{Fracao_Valor Residual}) \times \text{Custo_Aquisicao_Conjunto}}{\text{Vida_Conjunto}} \quad [\text{R\$/ano}]$$

Salários - Este item não engloba necessariamente apenas o salário do motorista, mas também pode considerar os custos de manter funcionários da empresa de transporte no serviço de supervisionamento da operação, que inclui visita aos clientes, acompanhamento dos processos de carregamento, descarregamento, viagem, etc. É portanto, uma forma de ajudar a cobrir os custos administrativos. De forma simplificada, a formulação indicada contempla apenas o salário e os encargos pagos aos motoristas.

$$\text{Salários} = \text{Núm_Motoristas/Equip.} \times \text{Salário Mensal} \times (1 + \% \text{ Encargos Sociais}) \quad [\text{R\$/mês}]$$

Seguro do Veículo - É geralmente calculado com base no valor de aquisição dos equipamentos. Propõe-se uma formulação extraída de contatos com uma empresa de transporte rodoviário.

$$\text{Seguro} = 5\% \times (\text{Custo Cavalos Mecânicos} + \text{Custo Carreta}) / 2 / 12 \quad [\text{R\$/mês}]$$

Licenciamento, Seguro Obrigatório, IPVA - Estes itens também são função de uma porcentagem do valor de aquisição do equipamento.

$$\text{Taxas} = 2\% \times \text{Custo Cavalô Mecânico} / 12$$

Custo Administrativo - A inclusão do rateio de uma parcela do custo fixo da empresa no custo de transporte é vital que seja realizado. Entretanto, não existe forma definida para estipular este valor. Entre os custos comumente incluídos no cálculo do custo administrativo tem-se aluguéis, conta de telefone, equipamentos e material de informática, salários do pessoal administrativo, etc.

Custos de Variáveis de Operação

São custos decorrentes da operação/ viagem dos veículos. Parte destes custos têm o seu cálculo feito de forma empírica, e é função do "know-how" adquirido por parte das empresas ao longo do tempo.

Peças e Materiais de Oficina - Este item é equivalente à manutenção, existente no modal hidroviário. A prática e experiência das empresas de transporte têm criado formulações empíricas para estipular este valor. Propõe-se uma formulação extraída de contatos com um empresa de transporte rodoviário, onde se gasta o equivalente a 0,85% do valor do equipamento para cada 10.000 km rodados.

$$\text{Peças e Materias} = \text{Custo Cavalô Mecânico sem Pneus} \times 0,85\% / 10000 \quad [\text{R\$/km}]$$

Pneus e Recapagem - Este item cobre as despesas relativas ao gasto com os pneus e as recapagens, e também são expressas em R\$/km.

$$\text{Pneus} = \text{Núm Pneus} \times \frac{(\text{Preço Pneu Novo} + \text{Núm Recap} \times \text{Preço Reforma})}{(\text{Km Pneu Novo} + \text{Núm Recap} \times \text{Km Pneu Reformado})} \quad [\text{R\$/km}]$$

Consumo de Combustíveis - Este item pode ser calculado em função do consumo específico do cavalo mecânico e do preço do combustível.

$$\text{Combustível} = \frac{\text{Preço combustível}}{\text{Consumo específico}} \quad [\text{R\$/km}]$$

Consumo de Óleo Lubrificante - Este item pode ser calculado em função do consumo específico de óleo lubrificante e do preço do óleo.

$$\text{Lubrificante} = \frac{\text{Preço Óleo}}{\text{Consumo específico}} \quad [\text{R\$/km}]$$

2.2.4.4 - Formação do Custo dos Terminais Intermodais

A formulação dos custos dos terminais foi extraída de Lima Jr. (1988), que detalhou a sua estrutura, agrupando os seus itens nas classes de custos fixos e variáveis.

Os custos fixos dizem respeito ao investimento realizado, às despesas gerais administrativas e às de manutenção de instalação.

Custos Fixos

Remuneração do Investimentos em Instalações (Custo Anual Equivalente)

$$CI = \sum_{i=1}^n II_i \left[\frac{J(J+1)^{NI_i}}{(1+J)^{NI_i} - 1} \right]$$

Onde:

II_i - investimento em instalações do setor i

NI_i - vida útil das instalações do setor i

J - taxa de atratividade do mercado

Remuneração dos investimentos em equipamentos (custo anual equivalente)

$$CE = \sum_{i=1}^n NEM_i * \left(IE_i - \frac{VR_i}{(1+J)^{NE_i}} \right) * \left(\frac{J(1+J)^{NE_i}}{(1+J)^{NE_i} - 1} \right)$$

Onde:

- NEM_i = número de equipamentos do tipo i
- IE_i = valor do equipamento do tipo i
- VR_i = valor residual do equipamento do tipo i
- NE_i = vida útil de equipamento do tipo i
- J = taxa de atratividade do mercado

Despesas gerais de Administração (DA)

$$DA = I * AT + T * NE + M * NE + NA * SA (1+B)$$

Onde:

- I = valor de imposto predial e/ou territorial por metro quadrado
- AT = área total do terminal
- T = valor de taxas como água, energia por pessoa
- NE = número da população do terminal
- M = despesas com materiais de escritório, higiene e outros por pessoa
- NA = número da mão de obra administrativa do terminal
- SA = salário médio da mão de obra administrativa
- B = índice de encargos sociais referentes ao salário da mão de obra administrativa

Uma forma de simplificada de estimar-se as despesas gerais de administração é pela seguinte relação:

$$DA = Y CT$$

Onde:

- CT = Custo total do Terminal

Y = Índice de custo administrativo ou "overhead"

Manutenção de Instalações (MI)

$$MI = \sum_{i=1}^n Ili * Kli$$

Onde:

Ili = investimento em instalações do setor i

Kli = Índice de manutenção do setor i

Custos Variáveis

Mão de obra operacional

$$MO = SO * (1 + B) * NO * [T + (H - T)(1 + g)p]$$

Onde:

$$NO = \sum_{i=1}^n NOSi + \sum_{j=1}^m (NEMj + NMj)$$

SO = salário horário médio da mão de obra operacional

B = índice de encargos sociais

NO = número de empregados operacionais totais

H = número de horas de operação do terminal

g = adicional de salário computando trabalho noturno e em dias

não úteis

T = período de operação normal do terminal

p = fator de correção, p = 1 para H >= T e p = 0 para H < T

NOSi = mão de obra operacional do setor i

NEMj = número de equipamentos do tipo J

NMj = número de pessoas requeridas pelo equipamento tipo J

Energia, Combustíveis e Lubrificantes (ECL)

$$ECL = H \left[VE * \left(\sum_{i=1}^n NE_i * CE_i \right) + \sum_{i=1}^n NE_i * CC_i * VC_i + \sum_{i=1}^n NE_i * CL_i * VL_i \right]$$

Onde:

- H = horas de operação
- VE = valor do kilowatt hora de energia
- NE_i = número de equipamentos do tipo i
- CE_i = consumo horário de energia pelo equipamento tipo i
- CC_i = consumo horário de combustível pelo equipamento tipo i
- VC_i = valor do combustível para equipamento do tipo i
- CL_i = consumo horário de lubrificantes pelo equipamento do tipo i
- VL_i = valor do lubrificante para equipamento do tipo i

Manutenção de Equipamentos (ME)

$$ME = \left[\sum_{i=1}^n NE_i * VE_i * KE_i \right] * H$$

Onde:

- NE_i = número de equipamentos do tipo i
- VE_i = valor do equipamento do tipo i
- KE_i = índice de manutenção do equipamento do tipo i
- H = horas de operação

Em análises mais simplificadas pode-se adotar o custo de manutenção de equipamento como custo fixo igual a um percentual do valor dos mesmos.

O valor dos custos operacionais totais do terminal correspondem a somatória de todos os custos relacionados anteriormente acrescidos por um fator de segurança.

Estes custos formam uma equação com uma parcela constante e outra variável com o número de horas trabalhadas.

Para computar-se os custos advindos das esperas dos veículos devido a existência de filas nos pontos de carga e descarga e com isso levar em conta o nível de serviço que o terminal oferece, sugere-se a seguinte relação:

$$CE = \sum_{i=1}^n X_i * TP_i * CHV_i$$

Onde:

CE = custo de espera em filas

X_i = fila média para carga/descarga

TP_i = tempo de processamento na carga e descarga do setor i

CHV_i = custo horário de permanência do veículo do modal i

A limitação desta equação é que nela está subentendido que o índice de chegada de veículos é constante ao longo do período de operação, o que na realidade não ocorre, existindo inclusive para alguns modais chegadas muito concentradas num período do dia.

3 - APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO MODELO ECONÔMICO-OPERACIONAL PARA O DIMENSIONAMENTO DO TRANSPORTE INTERMODAL DE CARGAS PELA HIDROVIA TIETÊ-PARANÁ

Para desenvolver o modelo que é objeto de estudo desta pesquisa, utilizou-se a metodologia proposta por Pedgen (1995) já comentada no Capítulo 2, que será aplicada em seguida.

3.1 -Definição do Problema

A meta principal deste estudo é a elaboração de um modelo que permita simular o transporte de cargas utilizando um sistema intermodal na Hidrovia Tietê-Paraná, com a finalidade de dimensionar este sistema. Como produto das rodadas do modelo, ter-se-á a configuração da frota (rodo, ferro e hidroviária) e terminais, necessários para atender a uma demanda estipulada de transporte de carga, para um conjunto de origens, destinos e modais pré-definidos, sem a presença de gargalos operacionais. Além disso, deseja-se poder testar políticas alternativas de operação, bem como realizar análises de sensibilidade em torno da solução ótima.

É desejável que o modelo seja genérico e capaz de propiciar uma análise operacional do transporte intermodal, variando: a localização, os tipos e as características dos terminais de carga ao longo da hidrovia (existência ou não de silos/tanques, as capacidades de armazenagem, etc.), e as características dos modais a serem utilizados (velocidade, capacidade de carga, etc.).

3.2 -Planejamento do Projeto

O projeto deverá seguir a metodologia existente para a condução de estudos de simulação, ser testado e validado pela gestora da Hidrovia Tietê-Paraná e seus usuários, confrontando os resultados obtidos com a prática existente.

3.3 - Definição do Sistema

Em primeiro lugar, será mostrado como opera sistema um sistema intermodal, exemplificado pela operação de transporte de grãos, que se constituem as cargas mais significativas atualmente na Hidrovia Tietê-Paraná. Em seguida, serão indicados as restrições e fronteiras do sistema em estudo. O exemplo de como opera o sistema intermodal pode ser visto no anexo III.

Atualmente, o escoamento de grãos a partir da região Centro-Oeste brasileira com destino ao mercado externo é realizado da seguinte forma:

- existe um conjunto de centros produtores na região Centro-Oeste que escoam seus grãos por caminhão até um terminal rodo-hidroviário localizado no ponto extremo norte da hidrovia, no distrito agroindustrial de São Simão (GO). Estes terminais recebem estes veículos geralmente entre as 8:00 e 24:00 hs;
- ao adentrarem o terminal os veículos aguardam em fila para serem pesados;
- após a pesagem, estes seguem para a fila de descarga;
- a descarga é feita utilizando um sistema denominado "tombador", quando simultaneamente ocorre a medição do índice de pureza e o teor de umidade dos grãos;
- após a descarga os veículos retornam à fila da balança concorrendo a utilização deste recurso com os veículos que estão chegando ao terminal;
- após a nova pesagem e o acerto da documentação o veículo é liberado;

- a carga é armazenada em silos aguardando a chegada das embarcações fluviais;
- ao atracarem, os comboios são posicionados junto aos “*shiploaders*” para início do processo de carregamento;
- durante o carregamento o empurrador fica de prontidão junto à chata para reposicioná-la, além de receber suprimentos de combustível, água potável, material de bordo, etc.;
- após o carregamento do conjunto de chatas (2 ou 4) o comboio é acoplado e segue viagem;
- durante a viagem, a embarcação tem a sua velocidade alterada quando da passagem em canais, pontes e em outras restrições físicas existentes; fatores climáticos também afetam a velocidade de cruzeiro do comboio, como a ação de correntezas, ventos e tempestades;
- na hidrovia Tietê-Paraná, no percurso descrito, existem um conjunto de eclusas, a saber: Nova Avanhandava, Promissão, Ibitinga e Bariri; ao chegar a uma eclusa, uma embarcação poderá encontrá-la em um dos seguintes estados:
 - livre - neste caso o nível da água pode estar ou não posicionado no lado em que se encontra a embarcação;
 - ocupada, com uma embarcação efetuando uma eclusagem para o reservatório oposto ao que ela se encontra – neste caso poderá ou não haver uma embarcação aguardando a liberação da eclusa daquele lado; caso exista, esta terá prioridade de uso;
 - ocupada, com uma embarcação efetuando uma eclusagem para o reservatório em que ela se encontra;
- conforme a situação acima descrita o tempo de espera para alocar o recurso eclusa será diferente;
- após a autorização para realizar a eclusagem, a mesma pode ser dividida em diversas etapas:
 - acesso longo - movimentação da embarcação do ponto de parada obrigatório até a entrada da câmara da eclusa;
 - acesso curto - movimentação da embarcação para adentrar completamente a câmara da eclusa;

- fechamento das comportas e amarração;
- enchimento / esvaziamento da câmara da eclusa;
- abertura das comportas e desamarração;
- saída da câmara da eclusa;
- ao chegar no terminal de destino (Pederneiras-SP), havendo espaço para a atracação da embarcação, inicia-se o processo de desmembramento do comboio e posicionamento junto aos “sugadores”;
- durante a descarga, as chatas têm que ser reposicionadas continuamente pelo empurrador, o qual, analogamente ao que acontece em São Simão (GO), é abastecido e suprido com material de bordo, água potável, etc.;
- a carga é armazenada em silos e aguarda a chegada dos trens;
- os trens ao chegarem aguardam em um pátio de espera e de manobras;
- os vagões são pesados antes e depois do processo de carga e aguardam em fila a formação do comboio;
- após o preparo da documentação o comboio segue viagem com destino a Santos (SP) onde a carga é transferida para navios graneleiros ou armazéns.

Trata-se de um processo um tanto complexo de ser avaliado face a algumas características, como por exemplo:

- a influência das condições climáticas nos tempos de viagem;
- a ocorrência de chuvas interrompendo o transbordo dos grãos;
- impacto de outras embarcações operantes na hidrovia na concorrência pela utilização das eclusas;
- os tempos aleatórios presente em todos os processos;
- problema de fluxo ou balanceamento da carga, o qual está ligado à interconecção dos diferentes modais.

Como restrições à elaboração do modelo tem-se, basicamente, que o mesmo contempla apenas uma origem e um destino para cada modal. Na eventualidade, por exemplo, de uma embarcação parar em diversos portos ao longo de seu percurso, o modelo deverá ser modificado. Não existem restrições

para os valores das demais variáveis do sistema, uma vez que estas serão objeto de teste e estudo.

3.4 - Formulação Conceitual do Modelo

O modelo econômico-operacional foi estruturado de forma a ser o mais genérico possível, possibilitando a montagem de diversos cenários, de acordo com o sistema de transporte em estudo. Desta forma, pode-se compor um sistema intermodal de transporte através da agregação de subsistemas distintos, tais como o rodoviário, ferroviário, hidroviário (com a possível presença de eclusas), os terminais rodo-hidroviário, rodo-ferroviário, ferro-hidroviário ou até mesmo rodo-ferro-hidroviário. Estes cenários estarão devidamente caracterizados pelos parâmetros operacionais e de custos, os quais serão um *input* por parte do usuário.

Portanto, a abordagem sistêmica para este problema se fez necessária para permitir a flexibilidade deste modelo. Contudo, cabe ressaltar que a utilização da técnica de simulação não garante a obtenção da resposta ótima como aquela encontrada quando se aplica modelos otimizantes.

Serão descritos a seguir o que seria a operação de um sistema combinado onde a carga é escoada em um sistema do tipo:

rodovia → terminal rodo-hidroviário → hidrovias → terminal hidro-ferroviário → ferrovia

3.4.1 - Subsistema Rodoviário e Terminal Rodo-Hidroviário

Subsistema Rodoviário

Este subsistema caracteriza-se por envolver todos os aspectos relativos ao deslocamento do caminhão desde o seu local de carregamento até a sua chegada ao terminal rodo-hidroviário.

Para a caracterização deste subsistema são necessários os seguintes dados operacionais:

- distância média percorrida (km)
- velocidade média do veículo (km/h)
- distribuição de probabilidades das capacidades dos veículos (prob. x ton)
- taxas de carregamento (ton/h)
- taxas de descarregamento no terminal rodo-hidroviário (ton/h)
- fator de correção da velocidade para o veículo vazio

Terminal Rodo-Hidroviário / Interface Rodoviária

Ao chegar em um terminal, o veículo entra em fila para alocar o terminal. O carregamento só ocorrerá se houver espaço disponível no silo. Caso o silo esteja na capacidade máxima, a interface rodoviária ficará travada aguardando o sinal de chegada do comboio na origem. Após a descarga do caminhão, o mesmo libera o terminal e segue viagem, conforme fluxograma que se segue.

Figura 3.1 - Terminal Rodo-Hidroviário (Interface Rodoviária)

3.4.2 - Subsistema Hidroviário, Terminal Rodo-Hidroviário e Terminal Hidro-Ferrovário

Subsistema Hidroviário

Este subsistema compreende a operação de carregamento no terminal de origem, a viagem pelas vias navegáveis e o descarregamento no terminal de destino. As vias navegáveis podem ou não ter eclusas em seu percurso.

Analogamente aos outros modais, serão listados os parâmetros que caracterizam este subsistema:

- distância média percorrida (km)
- número de comboios
- número de chatas por comboio
- se o sistema opera com desmembramento
- caso haja desmembramento, o número de conjunto de chatas extra
- velocidade média dos comboios (km/h)
- capacidade média das chatas (ton)
- taxas de carregamento no terminal hidro-ferroviário (ton/h)
- taxas de descarregamento (ton/h)
- fator de correção da velocidade para o comboio vazio

Terminal Rodo-Hidroviário / Interface Hidroviária

Após a chegada do comboio no terminal de origem podem ocorrer duas situações distintas. A primeira é quando o sistema não opera com desmembramento. Neste caso, o comboio é atracado, e após este evento inicia-se o posicionamento das chatas junto ao ponto de carregamento (*shiploader*). Se acabar a carga disponível no silo, o carregamento é suspenso até que a carga seja reposta até um certo nível mínimo (por exemplo, 100 ton). Esta premissa foi adotada pelo fato de, em geral, a taxa de descarregamento do silo ser superior à taxa de carregamento e conseqüentemente, existe a necessidade de ter um estoque mínimo que justifique a operação de todos os equipamentos. Após o enchimento de uma chata, a mesma é posicionada

próximo ao cais em local adequado e o processo de carregamento do comboio segue normalmente. Após o término de carregamento de todo o comboio, o conjunto é acoplado e o comboio segue viagem.

Caso haja a operação de desmembramento, os empurradores aguardam em fila o conjunto de chatas necessárias para a formação do comboio. Enquanto estes aguardam, as chatas são carregadas seguindo o mesmo processo já descrito. Esta modalidade existe para avaliar o ganho em reduzir o tempo de ciclo do empurrador face ao aumento do número de chatas na frota. Ver fluxograma relativo ao terminal rodo-hidroviário *com e sem* desmembramento, nas figuras 3.2 e 3.3.

Terminal Hidro-Ferroviário / Interface Hidroviária

Após a chegada do comboio no terminal de destino e a sua atracação, inicia-se o posicionamento das chatas junto ao ponto de descarregamento (sugadores). Se durante o descarregamento das chatas acabar o espaço disponível no silo, este será suspenso durante o tempo necessário para que o silo seja aliviado através da ferrovia, até que se libere um espaço equivalente a 5% da capacidade do silo. Este valor arbitrado de 5% foi estipulado pela possibilidade de a taxa de carregamento do silo ser superior à taxa de descarregamento e desta forma, faz-se necessário ter uma garantia mínima de espaço que justifique a operação de todos os equipamentos. Após o esvaziamento de uma chata, a mesma é posicionada próximo ao cais em local adequado e o processo de descarregamento do comboio segue normalmente. Após o término de descarregamento de todo o comboio, o conjunto é acoplado e o comboio segue viagem. Ver fluxograma relativo ao terminal hidro-ferroviário, conforme mostrado na figura 3.4.

Figura 3.2 - Terminal Rodo-Hidroviário (Interface Hidroviária Sem Desmembramento)

Figura 3.3 - Terminal Rodo-Hidroviário (Interface Hidroviária Com Desmembramento)

Figura 3.4 - Terminal Hidro-Ferroviário (Interface Hidroviária)

3.4.3 - Terminal Hidro-Ferrovário e Subsistema Ferrovário

Terminal Hidro-Ferrovário / Interface Ferrovária

Ao chegar no terminal, os vagões aguardam em fila o carregamento. Nesta operação, um conjunto de vagões são deslocados em bloco para pesarem vazios, carregarem e pesarem cheios novamente. Os vagões já carregados aguardam em local apropriado pelos demais. Após todos os conjuntos de vagões estarem carregados, monta-se a composição e a viagem tem o seu início. Analogamente ao carregamento de um comboio, se acabar a carga disponível no silo, o carregamento é suspenso até que a carga seja reposta até um certo nível mínimo (por exemplo, 100 ton). Esta premissa novamente foi adotada para que exista uma quantidade mínima de carga que justifique o acionamento de todos os equipamentos envolvidos no transbordo. O fluxograma do terminal Hidro-Ferrovário / Interface Ferrovária é mostrado na figura 3.5.

Subsistema Ferrovário

Este subsistema compreende os aspectos relativos ao carregamento da carga no terminal de destino hidroviário, envolvendo os processos de transbordo, deslocamentos dos conjuntos de vagões nas baias ferroviárias, manobras e montagem da composição. Além disso, este subsistema simula o deslocamento até Santos e o descarregamento da composição. Novamente as filas são consequência do congestionamento natural da operação deste modal.

Para a caracterização deste subsistema são necessários os seguintes dados operacionais:

- distância média percorrida (km)
- velocidade média da composição ferroviária (km/h)
- capacidade média dos vagões (ton)
- número médio de vagões por composição

- taxas de carregamento no terminal hidro-ferroviário (ton/h)
- taxas de descarregamento (ton/h)

Cumpra-se observar que, como no caso das ferrovias paulistas o controle da operação passou para a FERROBAN, não faz sentido calcular os tempos em cada processo do transporte, com a finalidade de se levantar os tempos de ciclos de viagem das composições. Adota-se, neste caso, a frequência com que os trens são disponibilizados à empresa, para o escoamento de sua carga. O modelo permitirá variar esta frequência, visando chegar no valor mais adequado para cada cenário.

Figura 3.5 - Terminal Hidro-Ferroviário (Interface Ferroviária)

3.4.4 - Subsistema Eclusa

Este subsistema representa um recurso pelo qual concorrem embarcações que querem realizar a transposição de nível ao longo do curso de um rio, de montante para jusante, ou jusante para montante. A modelagem da eclusa permite diferenciar esta operação em função do horário e em função dos diversos tipos de embarcação. Por exemplo, eventuais embarcações de passageiros que chegarem a uma eclusa terão prioridade em relação às embarcações de carga. Outrossim, embarcações de cargas perigosas poderão ter que aguardar durante o período da noite se as eclusas não estiverem devidamente preparadas quanto à segurança. Outro exemplo consiste em restringir os horários para a operação da eclusa, em função de alguma manutenção preventiva ou corretiva que estiver ocorrendo.

Quando uma embarcação chega a uma eclusa, podem haver as seguintes situações (ver fluxogramas em seguida):

- existência de fila de embarcações a sua frente;
- a eclusa está livre e com o nível d'água no mesmo nível em que se encontra a embarcação;
- a eclusa está livre, mas com o nível d'água no nível oposto ao que se encontra a embarcação;
- a eclusa está ocupada, com uma eclusagem sendo feita para o nível em que se encontra a embarcação;
- a eclusa está ocupada, com uma eclusagem sendo feita para o nível oposto em que se encontra a embarcação;
- a eclusa está ocupada, com uma eclusagem sendo feita para o nível oposto em que se encontra a embarcação e há uma fila no lado oposto.

Em todos os casos, quando houver a necessidade de se esperar em fila, seja para a transposição, ou durante a noite, a embarcação aguarda em um local apropriado.

Os tempos envolvidos nos processos declusagem são divididos em:

- Tempo de acesso longo (TAL) - é o tempo de deslocamento da embarcação entre o ponto de parada obrigatório e o ponto de entrada da câmara da eclusa;
- Tempo de acesso curto (TAC) - é o tempo de deslocamento da embarcação desde o ponto de entrada da câmara da eclusa até a que a mesma adentre por completo a câmara;
- Tempo de viragem (TV) - é o tempo que leva para encher ou esvaziar a câmara da eclusa quando a mesma está vazia, para posicionamento em outro nível;
- Tempo de saída (TS) - é o tempo de saída da embarcação da câmara.

A inserção da eclusa num contexto de simulação permite, através da análise da porcentagem média de ocupação da mesma, concluir se a intensidade do tráfego na hidrovia está simulando condições reais de operação ou não. Por exemplo, se o índice de congestionamento da eclusa estiver baixo, então novas embarcações de “terceiros” são inseridas no modelo, para representar o congestionamento real.

Estas embarcações têm suas posições iniciais sorteadas de tal forma que as mesmas estejam uniformemente distribuídas ao longo do rio.

As figuras 3.6 e 3.7 mostram os fluxogramas operacionais das eclusas.

Figura 3.6 - Eclusagem Montante-Jusante

Figura 3.7 - Eclusagem Jusante-Montante

3.4.5 - Subsistema de Monitoramento das Tancagens

Complementando o modelagem do sistema em estudo, se faz necessário incluir elementos que monitoram continuamente o nível das tancagens nos terminais e das entidades de carga (caminhões, comboios, trens). Este acompanhamento visa impor as restrições físicas reais e estes elementos.

Por exemplo, se um silo de um terminal hidro-ferroviário chegou em sua capacidade máxima de carga, então os comboios fluviais que forem chegando neste terminal não poderão realizar o transbordo da carga. Como outro exemplo pode-se citar que, ao se chegar num nível 0 de carga, um caminhão encerra o processo de descarga.

As figuras 3.8 a 3.18 mostram os diversos elementos de monitoramento das tancagens presentes no modelo.

Figura 3.8 - Terminal Rodo-Hidroviário (Monitora o Nível do Armazém, Verificando se foi atingida a Capacidade Máxima)

Figura 3.9 - Terminal Rodo-Hidroviário (Monitora o Nível do Armazém, Verificando se foi Atingido o Nível 0)

Figura 3.10 - Terminal Rodo-Hidroviário (Monitora o Descarregamento de um Caminhão, Verificando se foi Atingido o Nível 0)

Figura 3.11 - Terminal Rodo-Hidroviário (Monitora o Nível do Armazém, Verificando se foi Atingido o Nível de Reposição)

Figura 3.12 - Terminal Rodo-Hidroviário (Monitora o Nível do Comboio, Verificando se foi Atingido a Capacidade Máxima)

Figura 3.13 - Terminal Hidro-Ferrovário (Monitora o Nível do Comboio, Verificando se foi Atingido o Nível 0)

Figura 3.14 - Terminal Hidro-Ferrovário (Monitora o Nível do Armazém, Verificando se foi Atingida a Capacidade Máxima)

Figura 3.15 - Terminal Hidro-Ferroviário (Monitora o Nível do Armazém, Verificando se o Nível Caiu abaixo de 95% da Capacidade Máxima)

Figura 3.16 - Terminal Hidro-Ferroviário (Monitora o Nível do Armazém, Verificando se foi Atingido o Nível 0)

Figura 3.17 - Terminal Hidro-Ferrovário (Monitora o Nível do Armazém, Verificando se foi Atingido o Nível de Reposição)

Figura 3.18 - Terminal Hidro-Ferrovário (Monitora o Nível do Trem, Verificando se foi Atingido a Capacidade Máxima)

3.5 - Projeto Experimental Preliminar

Esta etapa consiste em selecionar as medidas de eficiência que serão empregadas, as variáveis de decisão que serão avaliadas e quais os resultados que precisam ser fornecidos pelo modelo.

A medida de eficiência é também uma figura de mérito, que serve para avaliar as alternativas. Como medida de eficiência adota-se o custo global de transporte, armazenagem e movimentação associado a cada cenário testado, o qual se busca minimizar. O modelo de simulação possui interface com planilhas de custos externas que fornecem o custo unitário (por tonelada) para cada modal. Outras medidas de eficiência, associadas ao custo global são: a ocupação dos veículos de carga, a qual se busca maximizar; tempos médios em fila que busca-se minimizar, entre outros. As variáveis que serão testadas podem ser resumidas nos que constam na tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Variáveis a Serem Variados no Modelo Operacional

Modal Rodoviário
Intervalo de chegada dos caminhões (min)
Tamanho do lote de chegada
Taxa de descarga (t/h)
Capacidade de carga do veículo (t)
Interface Rodo-Hidroviária
Existência ou não de armazém de origem
Nível máximo armazém origem (t)
Taxa de carregamento do comboio (t/h)
Modal Hidroviário
Número de empurradores
Número de chatas
Existência de desmembramento
Número de conjunto extra de chatas
Capacidade de carga das chatas (t)
Comboio simples ou duplo
Tempo de composição/desmembramento (min)
Existência de carga de retorno
Tempo de carga/descarga da carga retorno (min)
Interface Hidro-Ferrovária
Existência ou não de armazém de destino
Nível máximo armazém de destino (t)
Taxa de descarregamento do comboio (t/h)
Modal Ferroviário

Número de vagões
Capacidade de carga dos vagões (t)
Intervalo de chegada da composição (dias)

Já os resultados do modelo, que servirão para avaliar a eficiência econômico-operacional do sistema/cenário em estudo são os indicados pela tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Resultados a serem fornecidos pelo Modelo

Modal Rodoviário
Número de viagens realizadas
Total transportado (t)
Número médio de veículos em fila
Tempo médio de permanência no sistema (min)
Modal Hidroviário
Número de viagens realizadas
Total transportado (t)
Tempo de viagem redonda (min)
Tempo de espera nas eclusas (min)
Tempo eclusando (min)
Tempo fila nos terminais (min)
Tempo de permanência nos terminais (min)
Se houver desmembramento
- Empurrador
Tempo de permanência no terminal (min)
Tempo aguardando conjunto de chatas (min)
- Chatas
Tempo em fila para carregamento (min)
Tempo de carregamento (min)
Tempo aguardando empurrador (min)
Modal Ferroviário
Número de viagens realizadas
Total transportado (t)
Tempo em fila no terminal (min)
Tempo de permanência no terminal (min)
Terminal de Origem
Distribuição do nível do armazém
Nível médio (t)
Terminal de Destino
Distribuição do nível do armazém
Nível médio (t)

Nesta etapa também, para cada processamento realizado, foi estudado o período necessário para que o sistema simulado entrasse em regime, ou

seja, que as interações entre as diversas entidades não são mais afetadas por condições iniciais de operação, com objetivo de eliminar este período da coleta das estatísticas do modelo.

Para minimizar este período, procurou-se iniciar a simulação em um "estado" o mais próximo possível de uma condição de operação em regime. Desta forma, as diversas embarcações que são inseridas no modelo com o intuito de congestionar a via navegável e seus recursos, tais como, eclusas, passagem por pontes e canais artificiais, são distribuídas uniformemente ao longo de toda a hidrovia. Isto também acontece para as embarcações da "frota própria" simulada, evitando o congestionamento no início do processamento das eclusas e terminais.

Este efeito pode ser observado na figura 3.19, que mostra o período transitório como sendo aproximadamente de 3 dias dos 10 primeiros dias de simulação mostrados. Face a uma limitação gráfica do programa Arena, não foram indicadas as legendas dos gráficos na figura 3.19, sendo que as ordenadas de cada um deles representa a ocupação média das eclusas, e a abcissas representa o tempo de processamento em dias.

Figura 3.19 - Período Transitório da Simulação

3.6 - Preparação dos Dados de Entrada

Como dados de entrada, pode-se dividi-los em dois grupos: um que diz respeito à hidrovia e sua área de influência, tais como tramos, distâncias, rodovias de acesso e terminais intermodais; outro grupo em relação aos variáveis que serão testadas, e que são partes integrantes dos cenários.

Os elementos do primeiro grupo podem ser definidos a priori devido a razões físicas e geográficas. Busca-se no desenvolvimento do modelo contemplar todos os possíveis terminais, rodoviais, ferrovias, etc. da área de influência da hidrovia Tietê-Paraná. Já a segunda classe de dados está voltada para os testes/rodadas. Estas variáveis estão resumidas na tabela 3.1. A combinação delas dentro do campo de variação de cada uma, aplicado ao modelo, fornecerá os resultados operacionais a serem analisados pelo modelo econômico.

3.7 - Tradução do Modelo

O modelo foi codificado na linguagem ARENA. O seu desenvolvimento foi baseado na formulação conceitual do modelo, e no conhecimento, por parte do pesquisador, da linguagem de simulação probabilística ARENA. As telas do modelo estão no anexo IV, a listagem do arquivo de experimentos no anexo V e a listagem do código fonte no anexo VI.

3.8 - Verificação e Validação

A verificação e a validação ocorreram, conforme propõe Balci (1997) em todo o ciclo de desenvolvimento do modelo. Uma técnica que auxilia na verificação é a possibilidade de acompanhar o fluxo das entidades que estão sendo simuladas através da animação. Esta funcionabilidade incorporada ao "software" de simulação utilizado (Arena) permite avaliar a consistência da

lógica embutida no modelo. Testando-se diversas condições em submodelos isolados, pode-se acompanhar, através da animação, se o modelo funciona como esperado.

Como exemplo de utilização desta técnica, o subsistema eclusa foi isolado e simulado independentemente do restante do modelo. Isto possibilitou testar diversas situações de chegadas que, eventualmente, não ocorreriam numa simulação de todo o conjunto. Ao analisar as sequências de atendimento, de acordo com as regras de eclusagem já comentadas, pode-se comprovar a correta construção e implementação da lógica. Avaliando-se os tempos de permanência das embarcações neste sistema (em fila e no processo de transposição), pode-se validar a modelagem do subsistema eclusa, uma vez que os resultados indicados foram consistentes com valores esperados.

Um outro exemplo diz respeito ao sistema de monitoramento dos elementos contínuos, que são responsáveis por suspender/ativar um processo de carregamento/descarregamento de um tanque. A verificação/validação foi realizada testando-se diversas situações extremas, ou seja, que estivessem ocorrendo próximo dos limites inferior e superior dos tanques, aplicando-se vazões negativas e positivas respectivamente. Pode-se constatar situações onde este sistema de monitoramento falhava pois a tolerância (em volume) concedida ao nível limite (seja ele inferior ou superior) era menor que o produto da **vazão** (vol/tempo) x **dT** (tempo mínimo de avanço do relógio do simulador). Isto obrigou a reduzir o passo da simulação (dT), elevando significativamente o tempo de processamento.

Os demais subsistemas, tais como chegada dos caminhões, chegada das composições ferroviárias e viagens dos comboios fluviais são mais simples de verificar e validar, pela simplicidade de operação destas entidades.

A validação da eclusa, já comentada no que diz respeito ao processo de atendimento das embarcações, teve que ser validada dentro de um contexto de "gargalo" na navegação. De acordo com técnicos da CESP, órgão gestor da

hidrovia, é razoável admitir que a mesma possua uma ocupação média diária de 15%. Isto significa que existem embarcações trafegando na hidrovia, que se utilizam destas eclusas 15% de seu tempo disponível, e que eventualmente, podem torná-las congestionadas. Para representar esta condição de tráfego no modelo, inseriu-se diversas embarcações que realizam viagens entre Conchas (SP) e São Simão (GO) de tal forma a atingir o nível de ocupação estipulado. Isto é um dos fatores que torna o modelo representativo da realidade.

3.9 - Projeto Final Experimental, Experimentações, Análise e Interpretação

O modelo proposto para dimensionar o sistema de transporte intermodal de cargas na Hidrovia Tietê-Paraná possui duas formas de análises que interagem entre si: as modelagens operacional e a econômica. Na primeira etapa, o usuário do modelo busca, através da rodada de diversos cenários, dimensionar os recursos necessários (frota e terminais) para atender à demanda de carga. Estes cenários representam testes de configurações alternativas de operação, com diferentes políticas operacionais, como também testes de parâmetros que são incertos. A técnica de simulação é uma ferramenta poderosa neste sentido, pois vai de encontro a perguntas do tipo "what-if", que na sua maioria são complexas e não fáceis de serem respondidas. O conceito de utilização da técnica de simulação para a avaliação de cenários pode ser resumida na figura 3.20.

Figura 3.20 - Experimentos Utilizando a Simulação - Michael Pidd (1998)

Um vez tendo os resultados de dimensionamento para os cenários de interesse, passa-se para a segunda etapa que é a análise econômica. Dentro

dos diversos cenários, será escolhido aquele que apresentar o menor custo global, considerando transporte e a armazenagem. É importante ressaltar que diversos cenários poderão ser indicados como operacionalmente viáveis, e que não necessariamente o de menor custo deverá ser adotado. Por exemplo, às vezes, por questões estratégicas, é interessante possuir um silo com capacidade excedente à indicada pelo estudo de simulação, com o objetivo de angariar cargas de terceiros. Em todos os casos, para fins de exemplificação da metodologia estudada, serão assumidos como ideal o dimensionamento de um cenário exclusivo de transporte de grãos num mês de pico da safra de soja.

Com este propósito, foi criado o chamado "cenário padrão", que consiste no cenário de transporte intermodal que se deseja dimensionar. Uma vez dimensionado este sistema, o mesmo servirá de base para a realização das análises de sensibilidade.

Este cenário padrão possui a seguinte definição: *escoamento da soja produzida na região Centro-Oeste brasileira com destino ao Porto de Santos, num mês de alta demanda (50.000t), através da utilização de um sistema intermodal do tipo: **rodoviário**, dos centros produtores até o terminal intermodal de São Simão (GO); **hidroviário**, de São Simão (GO) até o terminal intermodal de Pederneiras (SP), navegando-se pelos rios Paranaíba, Paraná, São José dos Dourados, Canal de Pereira Barreto e Rio Tietê; **ferroviário**, do terminal intermodal de Pederneiras até o Porto de Santos.* Apesar de todas as variáveis indicadas na tabela 3.1 poderem ser objeto do presente dimensionamento, a princípio, algumas serão fixadas, podendo-se aplicar futuras análises de sensibilidade para avaliar o peso ou efeito destes fatores no desempenho operacional deste sistema intermodal de transporte. A quantidade de variáveis da tabela 3.1 é muito grande, e portanto, a combinação de todas as variáveis resultaria numa quantidade de muito grande de processamentos computacionais, e por esse motivo, algumas destas variáveis terão o seu valor assumido a priori. Na tabela 3.3 que segue abaixo, serão indicadas as variáveis que serão dimensionadas e as que serão assumidas como conhecidas para dimensionamento do cenário padrão.

Tabela 3.3 – Variáveis a Serem Dimensionadas

Variável
Modal Rodoviário
Intervalo de chegada dos caminhões (min)
Interface Rodo-Hidroviária
Nível máximo armazém origem (t)
Modal Hidroviário
Número de empurradores
Interface Hidro-Ferroviária
Nível máximo armazém de destino (t)
Modal Ferroviário
Número de vagões
Capacidade de carga dos vagões (t)
Intervalo de chegada da composição (dias)

Outra justificativa para se fixar algumas variáveis é por causa de questões práticas. Por exemplo, as taxas de carga e descarga nos terminais são função do desempenho dos equipamentos disponíveis no mercado. Desta forma, não é interessante neste presente estudo dimensionar esta variável, e concluir *a posteriori* que não existem equipamentos com a especificação apontada pelos resultados do modelo. Ou por exemplo, a capacidade dos veículos de carga rodoviária e hidroviária. A Lei da Balança limita a capacidade de um veículo rodoviário, enquanto que o gabarito da hidrovía limita as dimensões máximas das embarcações, e portanto, utiliza-se as capacidades máximas dos veículos de carga. O mesmo não ocorre para o transporte ferroviário, onde busca-se dimensionar o número de vagões e a frequência de chegada de uma composição a um terminal.

Adotou-se no cenário padrão que os terminais são dotados de armazenagem (silos), que operam 24hs por dia; os comboios são simples (empurrador e duas chatas - de acordo com as normas vigentes); não existe carga de retorno e nem desmembramento nos terminais.

Objetiva-se, portanto, com a simulação deste cenário padrão, o dimensionamento das frotas rodo, ferro e hidroviárias, como também dos silos nos terminais em São Simão (GO) e em Pederneiras (SP). A escolha dos cenários viáveis no dimensionamento operacional será com base naqueles que

não apresentarem gargalos para escoamento da carga, que gerarem demasiadamente grande nos terminais e atendem a demanda de transporte.

Após apresentado o cenário padrão, mostra-se a seguir como foram projetados e conduzidos os experimentos pertinentes em busca de cenários operacionalmente viáveis.

Cada cenário foi processado 10 vezes, com diferentes sementes para os números aleatórios, para um período de quatro meses com mesmo valor de demanda mensal. As médias obtidas dos 10 processamentos para cada resultado de interesse foram utilizadas na análise econômica. A variabilidade do conjunto dessas 10 replicações, por exemplo, quando computado o tempo de ciclo dos comboios, é da ordem 5% em relação a sua média.

3.9.1 – Experimentações do Modelo utilizando o Cenário Padrão

Numa primeira abordagem, estudou-se o processo de chegadas dos caminhões no terminal de São Simão (GO), assumindo-se que o intervalo entre chegadas consecutivas dos grupos de caminhão fosse regido por uma distribuição exponencial.

Levantou-se um gráfico com os intervalos médios em função da carga total transportada, assumindo um valor médio de carga de 27t por caminhão (quantidades praticadas na região), para três diferentes lotes de chegada com 1, 2 e 3 caminhões simultâneos, conforme pode ser na figura 3.21.

Uma vez determinado um valor da média entre chegadas de lotes de caminhões que atendesse à demanda mensal prevista, passou-se à simulação do sistema global de transporte, que teve como primeira tentativa os valores atribuídos às variáveis que constam na tabela 3.4.

Figura 3.21 - Intervalo Médio de Chegadas x Demanda Mensal Atendida

Tabela 3.4 – Faixa de Variação das Variáveis Utilizadas na Simulação I do Cenário Padrão

Capacidade vagão (t)	Intervalo entre chegadas trem (min)	Nível máximo armazém Pederneiras (t)	Nível máximo armazém São Simão (t)	Número comboios	Número vagões por trem
40	1440	15000	45000	6	30
50	2160	20000	50000	7	40
	2880	25000	55000	8	50
					60

Os valores associados para cada variável, mostrados na tabela 3.4, foram combinados entre si, que fez um total de $2 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 4 = 648$ cenários de teste e indicou que o gargalo no balanceamento da carga estava no terminal hidro-ferroviário em Pederneiras, mais especificamente no modal ferroviário, cujo binômio frequência/tamanho da composição não estava adequado. Foi possível chegar a esta conclusão construindo-se os seguintes gráficos apresentados nas figuras 3.22 e 3.23 (Capacidade Vagão=40t; Nível Máximo Armazém São Simão= 45.000t; Nível Máximo Armazém Pederneiras = 15.000t; Número Comboios=6):

Figura 3.22 - Intervalo de Chegada entre Trens x Quantidade Total Transportada

Figura 3.23 - Intervalo de Chegada entre Trens x Estoque Médio em Pederneiras

A análise da figura 3.22 indica que com a diminuição do intervalo médio entre chegadas consecutivas, passa-se a atender a demanda mensal de transporte, que é de 50.000t. Este fato está associado a uma queda progressiva e significativa do estoque médio em Pederneiras, indicando a relação entre a frequência de chegadas dos trens no terminal e o nível de armazenagem.

Esta relação mostra que para se manter níveis reduzidos de estoque em Pederneiras, basta aumentar a frequência de chegada das composições ferroviárias.

Tendo este fato em mente, passou-se a aumentar a frequência de chegada dos trens, associado a um limite máximo de armazenagem em níveis progressivamente menores, em função do observado nos gráficos anteriores. Desta forma, uma nova série de valores das variáveis foram combinadas entre si conforme mostrada na tabela 3.5, perfazendo mais um conjunto de 432 rodadas:

Tabela 3.5 – Faixa de Variação das Variáveis Utilizadas na Simulação II do Cenário Padrão

Capacidade vagão (t)	Intervalo entre chegadas trem (min)	Nível máximo armazém Pederneiras (t)	Nível máximo armazém São Simão (t)	Número comboios	Número vagões por trem
40	720	15000	30000	6	30
50	1080	20000	35000	7	40
	1440	25000	40000		50
					60

Com a realização deste conjunto de rodadas, pode-se refinar a faixa de variação das variáveis de decisão, que são objeto de estudo, após a constatação que o sistema encontrava-se super dimensionado. Com a preocupação em escoar de maneira eficiente a carga do terminal de Pederneiras por ferrovia, o estoque médio neste terminal permaneceu em níveis baixos, reduzindo o tempo em fila dos comboios fluviais para alocarem o terminal (não existiu mais a formação de fila para descarga de embarcações

impossibilitadas de descarregar, aguardando a liberação de espaço no silo). Este efeito foi sentido no terminal de São Simão, que devido à alta rotatividade dos comboios, o nível naquele armazém permaneceu, da mesma forma, em níveis baixos, conforme a tabela 3.6.

Tabela 3.6 - Resultados Parciais da Simulação

Nível máximo armazém Pederneiras (t)	Nível máximo armazém São Simão (t)	Número vagões por trem	Estoque Médio em São Simão (t)	Estoque Médio em Pederneiras (t)
15000	30000, 35000, 40000	40	337	8153
15000	30000, 35000, 40000	50	337	1243
20000	30000, 35000, 40000	40	337	8153
20000	30000, 35000, 40000	50	337	1243
25000	30000, 35000, 40000	40	81	9399
25000	30000, 35000, 40000	50	35	899

Número de Comboios=6; Intervalo Entre Chegadas dos Trens=1080 min; Capacidade vagão=50t.

Os valores mostrados em cada linha da tabela 3.6, de algumas combinações das variáveis de decisão indicam que os terminais estão operando de forma eficiente, e que estão super dimensionados. Existe a possibilidade de reduzir suas capacidades nominais em função destes resultados. Além disso, observa-se na tabela 3.7 que os comboios possuem um tempo considerável de permanência em fila, acarretando em baixos índices de rotatividade. Isto pode ser decorrência da falta de estoque em São Simão ou que a frota de comboios é maior que a necessária para movimentar a demanda mensal prevista. Assim a outra variável de decisão que tem que ser avaliada, em função do contexto global de operação é o número de comboios.

Tabela 3.7 - Utilização dos Comboios

Número Comboios	Índice de Rotatividade	Tempo Fila São Simão (min)
6	59%	1350
7	51%	3086

Junto com a progressiva redução das capacidades máximas de armazenagem, foram testados 4 valores para número de comboios fluviais, visando determinar o quantidade que maximiza o índice de rotatividade, atendendo à demanda de transporte. Neste novo conjunto de rodadas do modelo foram testados 1152 cenários, resultados da combinação das variáveis listadas na tabela 3.8.

Tabela 3.8 – Faixa de Variação das Variáveis Utilizadas na Simulação III do Cenário Padrão

Capacidade vagão (t)	Intervalo entre chegadas trem (min)	Nível máximo armazém Pederneiras (t)	Nível máximo armazém São Simão (t)	Número comboios	Número vagões por trem
40	480	15000	20000	4	30
50	720	20000	25000	5	40
	1080	25000	30000	6	50
	1440			7	60

Os resultados deste terceiro conjunto de rodadas indicaram como sendo 5 o número mínimo de comboios para atender à demanda mensal de 50.000 t. Com esta variável dimensionada, o sistema de transporte simulado já se encontra balanceado, garantindo que não há formação de gargalos. Isto é comprovado pelo atendimento da demanda como também pelos valores dos estoques médios, tempos em fila para carga e descarga dos comboios, conforme a tabela 3.9.

Tabela 3.9 - Resultados Operacionais do Modal Hidroviário (Núm. Comboios=5)

Parâmetro	Média	Máximo
Tempo em Fila - São Simão (min)	19	27
Tempo em Fila - Pederneiras (min)	33	292
Estoque Médio / Estoque Máximo - São Simão	4%	12%
Estoque Médio / Estoque Máximo - Pederneiras	20%	79%

De acordo com o observado na tabela 3.9, as relações (estoque médio)/(estoque máximo) indicam que os terminais encontram-se com capacidade ociosa. Já os tempos de permanência das embarcações em fila mostram que em São Simão não há falta de estoque que provoque uma permanência adicional em fila ou no terminal. Em Pederneiras, este parâmetro

comprova o superdimensionamento dos silos, uma vez que as embarcações não ficam retidas no terminal por falta de espaço para descarga, e portanto, não geram fila na descarga de outras embarcações da frota.

Como o objetivo nesta etapa é a identificação de cenários que não gerem gargalos, possibilitando o atendimento da demanda, prosseguiu-se com outros experimentos que viessem a indicar reduções ainda maiores nas capacidades dos silos, já que a escolha do cenário ótimo será feita numa segunda etapa, com o auxílio da análise econômica.

Para tanto, realizou-se mais um conjunto de experimentos, variando-se as variáveis indicadas na tabela 3.10, perfazendo um conjunto de 400 processamentos.

Tabela 3.10 – Faixa de Variação das Variáveis Utilizadas na Simulação IV do Cenário Padrão

Capacidade vagão (t)	Intervalo entre chegadas trem (min)	Nível máximo armazém Pederneiras (t)	Nível máximo armazém São Simão (t)	Número comboios	Número vagões por trem
40	360	5000	5000	5	30
	480	10000	10000		40
	720	15000	15000		50
	960	20000	20000		60
	1440		25000		

Os resultados deste novo conjunto de rodadas indicou que todas as combinações acima são viáveis, exceto quando o intervalo entre chegadas dos trens são 960 e 1440 minutos, confirmando a forte dependência da frequência de chegada das composições ferroviárias com o balanceamento de todo o sistema.

Considerou-se encerrada a busca por alternativas operacionais que atendem à demanda sem a formação de gargalos, uma vez que uma grande faixa de variação foi testada para as variáveis que eram objetos de estudo, a saber:

- Silo em São Simão (t): 5.000, 10.000, 15.000, 20.000, 25.000, 30.000, 35.000, 40.000, 45.000, 50.000 e 55.000;
- Silo em Pederneiras (t): 5.000, 10.000, 15.000, 20.000 e 25.000;

- Intervalo entre Chegadas dos Trens (min): 360, 480, 720, 960, 1440, 2160 e 2880;
- Número de Vagões por Trem: 30, 40, 50 e 60;
- Capacidade do Vagão (t): 40 e 50;
- Número de Comboios Fluviais: 4, 5, 6, 7 e 8

No próximo capítulo serão mostradas e analisadas sob a ótica econômica as alternativas operacionalmente viáveis.

4 -ANÁLISE ECONÔMICA DE ALTERNATIVAS PARA O SISTEMA INTERMODAL DE TRANSPORTES UTILIZANDO A HIDROVIA TIETÊ-PARANÁ

Nesta seção serão mostrados inicialmente os parâmetros de custos associados a cada modal de transporte. Com base nos resultados obtidos no capítulo 3, mostra-se em seguida a avaliação econômica das alternativas, e ao final desta seção uma análise de sensibilidade de algumas variáveis de decisão.

4.1 – Parâmetros de Custo do Modal Rodoviário

A participação do modal rodoviário no sistema intermodal simulado diz respeito ao transporte de grãos entre os centros produtores até o terminal intermodal de São Simão (GO). Estes centros de produção agrícola estão espalhados por vários pontos da região Centro-Oeste e Norte do Brasil. Admitiu-se como local de origem a cidade de Jataí (GO), distante 187km de São Simão, por ser um dos pólos de origem das commodities agrícolas escoadas pela Hidrovia Tietê-Paraná.

Devido à sazonalidade existente do transporte de grãos, é comum a participação exclusiva de carreteiros (ou terceiros) neste segmento, afastando a utilização de frota própria.

Tendo esta premissa de não utilização de frota própria, a estrutura de custos do transporte rodoviário foi substituída pelo frete médio praticado na região (R\$ 12,50 / t) para distâncias semelhantes.

4.2 – Parâmetros de Custo do Modal Hidroviário

A participação do modal hidroviário no sistema intermodal estudado, é referente ao transporte dos grãos do terminal intermodal de São Simão (GO) até o terminal intermodal de Pederneiras (SP). Como o número de comboios

necessários para atender à demanda de 50.000 t / mês é uma variável de decisão, e a ampliação da frota para aquisição de mais um comboio é necessariamente um investimento e não um afretamento, é de extrema importância o detalhamento da estrutura de custos deste modal, de tal forma que a decisão de aumentar ou não a frota seja feita de maneira racional e consistente.

Os parâmetros utilizados na estrutura já comentada na seção 2.2.4, são indicados a seguir.

Tabela 4.1 - Parâmetros de Custo do Modal Hidroviário

Parâmetros Estáticos	
Número de empurradores	5
Número de chatas	10
Custo de aquisição empurrador (R\$)	820.000,00
Custo de aquisição chatas (R\$)	400.000,00
Taxa retorno capital (%)	12,00
Imposto de renda (%)	35,00
Valor residual / custo aquisição	0,30
Vida útil empurrador (anos)	15
Vida útil chatas (anos)	20
Capacidade carga comboio (t)	2.200
Velocidade média comboio (nós)	7,50
Potência instalada motor (hp)	740
Custo do combustível (R\$/l)	0,35
Custo do lubrificante (R\$/l)	4,00
Consumo específico combustível (kg/hp/h)	0,17
Consumo específico lubrificante (kg/hp/h)	0,002
Peso específico combustível (kg/l)	0,85
Peso específico lubrificante (kg/l)	0,90
Taxa seguro anual empurrador (%)	1,50
Taxa seguro anual chatas (%)	1,50
Percentual custo manutenção empurrador (%)	5,00
Percentual custo manutenção chatas (%)	3,00
Número de tripulantes	8
Salário total tripulação (R\$)	3.600,00
Encargos sociais (%)	89,17
Distância entre portos (mn)	351
Custo de alimentação diário por tripulante (R\$)	6
Taxa Dolar Comercial Venda	1,80
Taxa de Lucro (%)	15

Não foram considerados formas de financiamento com juros subsidiados que poderiam tornar menos participativa a parcela de custo de capital das embarcações.

4.3- Parâmetros de Custo do Modal Ferroviário

Conforme discutido na seção 2.2.4.2, o modal ferroviário é remunerado cobrando-se um valor fixo por tonelada, que é função do tipo de carga, da distância, do volume total a ser transportado e da frequência de requisição do serviço de tração.

O modal ferroviário no presente estudo, desempenha a função de transporte dos grãos desde o terminal intermodal de Pederneiras (SP) até o Porto de Santos, onde esta carga será exportada.

O valor adotado no estudo foi o de R\$ 7,50 / t, valor este praticado na região do Estado de São Paulo, para distâncias próximas a 550 km.

4.4 – Parâmetros de Custo dos Terminais Intermodais

O projeto e implantação de um terminal passa por diversas etapas, descritas por Lima Jr. (1988). A avaliação de custos de investimentos é bastante complexa e varia de acordo com as facilidades encontradas no mesmo. Devido à falta de informações referentes ao detalhamento dos custos fixos e variáveis de operação, utilizou-se valores recomendados por armadores e fabricantes:

- Investimento Inicial (Silo Fundo Cônico e Equipamentos Movimentação): R\$ 90,00 / t
- Custos Variáveis de Movimentação: R\$ 2,50 / t

4.5 – Avaliação Econômica das Alternativas

Uma vez indicados os parâmetros de custo que foram utilizados, passou-se a aplicá-los à gama de resultados viáveis obtidos nas diversas rodadas discutidas no capítulo 3. Os melhores 60 resultados / configurações serão listados na tabela 4.2, onde a linha sombreada de cor cinza está a solução adotada como melhor. Os demais resultados constam no anexo VII.

Nesta tabela 4.2, a coluna 1 é referente ao número de comboios utilizados na simulação; as colunas 2 e 3 são referentes às capacidades máximas dos silos em São Simão e Pederneiras, respectivamente. A coluna 4 diz respeito ao intervalo testado entre chegadas de trens; a coluna 5 ao número de vagões da composição ferroviária e a coluna 6 à capacidade de carga dos vagões.

As colunas de 7 a 11 indicam o resultado das simulações quanto ao aspecto econômico, mostrando a participação do custo de cada modal e armazenagem no custo global, que está indicado na coluna 12.

Tabela 4.2 - Custo por Tonelada Global dos Cenários Testados e Rateio por Modal/ Terminal

Núm Combos	Silo São Simão (t)	Silo Pederneiras (t)	Intervalo trens (min)	Núm Vagões	Capacidade Vagão (t)	Modal Hidro	Modal Rodo	Modal Ferro	Terminal São Simão	Terminal Pederneiras	Custo/t (R\$/t)
5	5000	5000	480	30	40	21,4%	38,6%	23,5%	8,2%	8,3%	32,16
5	5000	5000	360	40	40	21,5%	38,6%	23,4%	8,2%	8,3%	32,17
5	5000	5000	360	30	40	21,5%	38,6%	23,4%	8,2%	8,3%	32,18
5	5000	5000	480	50	40	21,5%	38,7%	23,3%	8,2%	8,3%	32,18
5	5000	5000	360	50	40	21,6%	38,5%	23,4%	8,2%	8,3%	32,19
5	5000	5000	960	60	40	21,6%	38,6%	23,3%	8,2%	8,3%	32,19
5	5000	5000	960	50	40	21,6%	38,5%	23,4%	8,2%	8,3%	32,19
5	5000	5000	720	60	40	21,6%	38,6%	23,3%	8,2%	8,3%	32,19
5	5000	5000	360	60	40	21,6%	38,6%	23,3%	8,2%	8,3%	32,19
5	5000	5000	480	60	40	21,6%	38,6%	23,3%	8,2%	8,3%	32,19
5	5000	5000	720	40	40	21,7%	38,5%	23,4%	8,2%	8,2%	32,28
5	5000	5000	720	50	40	21,6%	38,6%	23,4%	8,2%	8,2%	32,28
5	5000	5000	480	40	40	21,7%	38,5%	23,4%	8,2%	8,2%	32,28
5	10000	10000	480	30	40	21,3%	38,4%	23,4%	8,2%	8,7%	32,31
5	10000	5000	480	40	40	21,4%	38,4%	23,3%	8,7%	8,2%	32,31
5	10000	5000	360	40	40	21,4%	38,4%	23,3%	8,7%	8,2%	32,31
5	5000	10000	720	40	40	21,4%	38,4%	23,3%	8,2%	8,7%	32,31
5	5000	10000	360	40	40	21,4%	38,4%	23,3%	8,2%	8,7%	32,32
5	10000	5000	960	60	40	21,4%	38,5%	23,2%	8,7%	8,2%	32,32
5	5000	10000	360	30	40	21,4%	38,4%	23,3%	8,2%	8,7%	32,33
5	10000	5000	360	30	40	21,4%	38,3%	23,3%	8,7%	8,2%	32,33
5	5000	10000	480	50	40	21,4%	38,5%	23,2%	8,2%	8,7%	32,33
5	10000	5000	480	50	40	21,4%	38,4%	23,2%	8,7%	8,2%	32,33
5	5000	10000	960	50	40	21,4%	38,5%	23,2%	8,2%	8,7%	32,33
5	10000	5000	480	30	40	21,4%	38,4%	23,3%	8,7%	8,2%	32,33
5	10000	5000	360	50	40	21,5%	38,4%	23,2%	8,7%	8,2%	32,33
5	10000	5000	720	40	40	21,5%	38,4%	23,2%	8,7%	8,2%	32,34
5	10000	5000	480	60	40	21,5%	38,4%	23,2%	8,7%	8,2%	32,34
5	10000	5000	960	50	40	21,5%	38,4%	23,2%	8,7%	8,2%	32,34
5	10000	5000	360	60	40	21,5%	38,4%	23,2%	8,7%	8,2%	32,34

Tabela 4.2 - Custo por Tonelada Global dos Cenários Testados e Rateio por Modal/Terminal - continuação

Núm Comboios	Silo São Simão (t)	Silo Pederneiras (t)	Intervalo trens (min)	Núm Vagões	Capacidade Vagão (t)	Modal Hidro	Modal Rodo	Modal Ferro	Terminal São Simão	Terminal Pederneiras	Custo/t (R\$/t)
5	10000	5000	720	60	40	21,5%	38,4%	23,2%	8,7%	8,2%	32,34
5	5000	10000	360	50	40	21,5%	38,4%	23,3%	8,2%	8,7%	32,34
5	5000	10000	960	60	40	21,4%	38,5%	23,2%	8,2%	8,7%	32,34
5	5000	10000	720	60	40	21,5%	38,4%	23,2%	8,2%	8,7%	32,34
5	5000	10000	360	60	40	21,5%	38,4%	23,2%	8,2%	8,7%	32,34
5	5000	10000	480	60	40	21,5%	38,4%	23,2%	8,2%	8,7%	32,34
5	10000	10000	360	30	40	21,2%	38,3%	23,2%	8,6%	8,7%	32,35
5	10000	5000	720	50	40	21,5%	38,4%	23,3%	8,6%	8,7%	32,37
5	5000	10000	720	50	40	21,5%	38,4%	23,3%	8,2%	8,2%	32,43
5	5000	10000	480	40	40	21,6%	38,3%	23,3%	8,2%	8,7%	32,44
5	10000	10000	720	50	40	21,2%	38,2%	23,3%	8,6%	8,7%	32,44
5	10000	10000	360	50	40	21,2%	38,3%	23,3%	8,6%	8,7%	32,45
5	5000	15000	480	30	40	21,2%	38,2%	23,3%	8,1%	9,1%	32,46
5	10000	10000	480	40	40	21,3%	38,2%	23,2%	9,1%	8,2%	32,46
5	15000	5000	360	40	40	21,3%	38,2%	23,2%	8,6%	8,7%	32,46
5	10000	10000	360	40	40	21,3%	38,2%	23,2%	9,1%	8,2%	32,46
5	5000	15000	720	40	40	21,3%	38,2%	23,2%	8,6%	8,7%	32,46
5	5000	15000	360	40	40	21,3%	38,2%	23,2%	8,1%	9,1%	32,47
5	10000	10000	480	30	40	21,3%	38,2%	23,2%	8,6%	8,7%	32,47
5	10000	10000	960	60	40	21,3%	38,3%	23,1%	8,6%	8,7%	32,47
5	15000	5000	960	60	40	21,3%	38,3%	23,1%	9,1%	8,2%	32,47
5	10000	10000	960	50	40	21,3%	38,3%	23,1%	8,6%	8,7%	32,48
5	15000	5000	360	30	40	21,3%	38,2%	23,2%	8,2%	9,1%	32,48
5	15000	5000	360	30	40	21,3%	38,2%	23,2%	9,1%	8,2%	32,48
5	5000	15000	480	50	40	21,3%	38,3%	23,1%	8,2%	9,1%	32,48
5	15000	5000	480	50	40	21,3%	38,2%	23,1%	9,1%	8,2%	32,49
5	5000	15000	960	50	40	21,3%	38,3%	23,1%	8,2%	9,1%	32,49
5	15000	5000	480	30	40	21,3%	38,2%	23,2%	9,1%	8,2%	32,49

A tabela 4.2, além de apontar as melhores soluções e a participação dos custos em cada modal permite também analisar o impacto da variação do tamanho dos silos no custo por tonelada global.

Por exemplo, considerando o cenário onde número de comboios=5; intervalo entre chegadas dos trens=360 min; capacidade do vagão=40t e número de vagões por composição = 60. O efeito do aumento de silagem para São Simão e Pederneiras é visualizado pelo gráfico da figura 4.1.

Figura 4.1 - Influência do Tamanho dos Silos no Custo Global de Transportes

Como pode ser observado, o efeito é mínimo, em função do alto volume movimentado e do período de vida útil considerado de 7,5 anos. Isto indica a viabilidade de utilizar silos maiores que o estritamente necessário, até por uma questão estratégica de se movimentar cargas de terceiros em outros períodos do ano.

Passa-se então a avaliar o efeito de aumento de frota (aumento de custo fixo) no custo global de transportes. Para isso foi escolhido um caso contendo a seguinte composição: intervalo entre chegadas dos trens=720 min; capacidade do vagão=40t e número de vagões por composição = 30; silo em São Simão = 20.000t; silo em Pederneiras = 20.000t.

O efeito do aumento de embarcações na frota, que afeta mais diretamente o custo global de transporte, é indicado pelo gráfico da figura 4.2.

Figura 4.2 - Influência do Número de Comboios no Custo Global de Transportes

Baseado na tabela 4.2 e na influência de pequeno peso do efeito do tamanho da silagem no custo global de transportes, optou-se como cenário ótimo a configuração abaixo:

- Número de Comboios = 5
- Capacidade Silo em São Simão = 10.000 t
- Capacidade Silo em Pederneiras = 10.000 t
- Intervalo entre Chegadas dos Trens = 960 min
- Número de vagões por composição = 60
- Capacidade do vagão = 40 t

Esta escolha é justificada por oferecer silos tanto em São Simão (GO) quanto em Pederneiras (SP) de capacidade superior às estritamente necessárias, e por possuir um intervalo entre chegada dos trens de tal forma a diminuir a carga diária de gerenciamento da operação no terminal.

Os custos mensais são:

• Hidroviário = R\$ 348.182	(21,3%)
• Ferroviário = R\$ 377.868	(38,3%)
• Rodoviário = R\$ 627.496	(23,1%)
• Fixo Silo São Simão = R\$ 15.384	(incluso c/variável)
• Variável Silo São Simão = R\$ 125.999	(8,6%)
• Fixo Silo Pederneiras = R\$ 15.384	(incluso c/variável)
• Variável Silo Pederneiras = R\$ 126.228	(8,7%)
• Total: R\$ 1.636.544	
• Custo / Tonelada: 32,47 R\$ / t	

Comparando-se esta solução com o frete rodoviário Jataí (GO) - Santos (SP) de 48,00 R\$/t, tem-se uma redução de **32,34%**, indicando a viabilidade de utilização do sistema intermodal combinado.

No entanto, esta redução apresentada é mais baixa do que a divulgada por entidades de fomento da hidrovía, que provavelmente não utilizam uma metodologia que integre os meios de transporte e considere as interferências de gargalos, levando a apresentarem reduções de custos muito maiores.

4.6 - Análise de Sensibilidade

Nesta fase passa-se a estudar a influência de algumas variáveis e seus impactos na melhor solução encontrada.

4.6.1 – Período Diário Permitido para Eclusagem: 12hs, 18hs e 24hs

Em primeiro lugar será mostrado a influência de restrição de eclusagem para períodos inferiores a 24hs. Isto pode vir ser uma restrição operacional em determinadas épocas do ano, devido a manutenções preventivas, por exemplo.

Rodando-se o modelo de simulação para o cenário ótimo indicado anteriormente, para períodos de eclusagem de 12 e 18hs, obteve-se os resultados indicados na figura 4.3.

Figura 4.3 - Influência da Redução do Horário de Eclusagem no Custo Global de Transportes.

O gráfico indica que o efeito principal foi uma redução da quantidade transportada mensalmente, consequência do aumento do tempo médio de viagem redonda, que consta na tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Tempo Médio de Viagem Redonda

Horário de Eclusagem	Tempo Médio de Viagem Redonda (min)
12 hs	10.107,95
18 hs	9.634,37
24 hs	9.181,48

Entretanto, este efeito ainda possibilitou o atendimento/balanceamento da carga dentro de uma tolerância de 10%, mas elevou o custo na medida em que se transportou menos carga.

4.6.2 – Efeito do Desmembramento dos Comboios nos Terminais Hidroviários

Em navegação fluvial, uma operação com desmembramento visa minimizar a permanência do empurrador em um terminal. Para que isto seja possível, deverá haver pelos menos 1 conjunto adicional de chatas carregadas no terminal, para ser acoplada ao empurrador assim que o mesmo chegar.

Este procedimento visa aumentar a rotatividade e a produtividade do elemento mais oneroso do conjunto empurrador / chatas.

Foi verificado, para a solução ótima obtida, as eventuais reduções de custos advindas de uma operação com desmembramento em São Simão (GO). Isto foi feito reduzindo-se a quantidade de empurradores na frota para 4 e para 3, e inserindo-se conjuntos adicionais em São Simão.

Constatou-se que, no caso de 3 empurradores, a demanda mensal atendida foi de 35.750t ,ou seja, apenas 72% do total esperado. Já para 4 empurradores, a frota transportou 95% do total previsto, 47.300t., que é considerado um nível aceitável de atendimento da demanda.

Um segundo passo foi a avaliação econômica desta solução, tida como aceitável operacionalmente.

Com relação à redução de custo hidroviário, constatou-se uma economia de 17%, conforme indicado na tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Custo Mensal Hidroviário

Tipo de Operação	Custo Mensal Hidroviário (R\$)
Sem Desmembramento	348.182,05
Com Desmembramento	288.115,71

Contudo, conforme pode ser visto na tabela 4.2, a participação do modal hidroviário na composição do custo global é da ordem de 20%, o que reduz sensivelmente a economia alcançada. Desta forma, rateando-se os custos obtidos do presente caso estudado, chega-se a uma redução da ordem de 2% conforme indica a tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Custo Global

Tipo de Operação	Custo Global (R\$/t)
Sem Desmembramento	32,47
Com Desmembramento	31,92

5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho abordou o dimensionamento econômico-operacional de sistemas intermodais de transportes, utilizando-se técnicas de simulação para a descrição, modelagem, experimentação, obtenção de resultados e análise de sensibilidade das principais variáveis envolvidas.

Os resultados apresentados na seção 4 do sistema intermodal versus um sistema puramente rodoviário, podem ser considerados bem realistas, onde o ganho econômico existe (na faixa de 30%) porém, não é tão grande como aqueles apregoados pelas agências de fomento.

Tendo em vista que sistemas semelhantes já foram estudados por meio do uso de técnicas de programação matemática, notadamente fluxo em redes capacitadas, bastante recomendadas para o planejamento de sistemas a nível estratégico, conclui-se que, utilizando-se as técnicas de simulação, pode-se introduzir mais detalhes operacionais do sistema em estudo do que permitido nas técnicas acima citadas, aprimorando melhor o planejamento a esse nível, sem a necessidade de assumir muitas hipóteses simplificadoras que afastem muito o sistema real do sistema modelado. Sob a ótica da modelagem, a simulação permite o tratamento muito mais adequado da interface entre os modais, podendo-se avaliar a existência de gargalos.

No tocante à análise econômica, que nesse trabalho utilizou planilhas de custos baseadas nos resultados operacionais do modelo de simulação e nas restrições físicas e técnicas do sistema, obteve-se também um resultado mais confiável do que aqueles apresentados com aplicação de fluxo em rede. A formação dos custos utilizando-se planilhas, contempla toda a estrutura de custos fixos e variáveis, ou capital, operacional e de viagem, sendo que o rateio final indicará o custo por tonelada global.

Como as decisões estratégicas para uma empresa adotar soluções intermodais com utilização de subsistemas hidroviários não podem apresentar grandes margens de erro, visto que existe a necessidade de aplicação de capitais intensivos nesta atividade, mais uma vez justifica-se a modelagem utilizando técnicas de simulação, que para o caso estudado, apresentaram somente ganhos moderados.

Todavia, o tempo de processamento em busca dos cenários viáveis que podem cercar uma região onde a solução ótima está contida, utilizando-se técnicas de simulação, é consideravelmente alto. Contudo, com a evolução computacional de hardware e software, a tendência é a progressiva redução destes tempos e a diversificação da utilização destas técnicas.

Cabe ressaltar que a modelagem aplicada neste trabalho à Hidrovia Tietê-Paraná e aos outros modais de transportes associados, resultou um modelo complexo e rígido no sentido de poderem ser testadas algumas condições físicas e operacionais não previstas inicialmente, como por exemplo, o serviço das embarcações em mais do que dois portos na rota ou a utilização de duas eclusas em paralelo, que exigiriam mudanças substanciais no modelo.

Recomenda-se para continuação deste trabalho os seguintes itens:

- Processamento de outros cenários de demanda, incluindo a sazonalidade da mesma, cuja implementação no modelo não traria muitas dificuldades;
- Ampliar o estudo do impacto de outras embarcações utilizando-se os terminais que foram considerados, e a operação das eclusas visando a ocupação máxima de seu comprimento útil disponível para embarcações;
- Estender a análise de sensibilidade para as demais variáveis de decisão do modelo;
- Estudar o aspecto econômico deste sistema estritamente sob a visão dos custos associados, substituindo-se os fretes rodoviários, os fretes ferroviários e as tarifas dos terminais, pelas suas respectivas planilhas de formação de custo.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adler, H. A. - **Avaliação Econômica de Sistemas de Transporte**. Livros Técnicos e Científicos Editora, 1978.
- Balci, O. - **Principles of simulation model validation, verification, and testing**. Transactions of the Society for Computer Simulation International, Vol.14 No. 1, March 1997, 3-12.
- Botter, R.C.; Brinati, M.A.; Roque, J.R.R.; Gouvêa, M.T. e Souza, C.L.S.P. - **Dimensionamento de um sistema integrado de álcool e óleo diesel na região de influência da hidrovia Tietê-Paraná**. Anais do 12º Congresso Nacional de Transportes Marítimos e Construção Naval, Rio de Janeiro, 1988, 13-43.
- Chowdhury, K.H. - **Simulation in marine transportation system**. Marine Technology, Vol. 26, No. 1, 1989, 74-85.
- Cochran, J.K. e Lin, L. - **Application of computer simulation to freight transport systems**. Journal of Operational Research Society, Vol. 40, 1989, 433-441.
- Crainic, T.G. e Laporte, G. - **Planning models for freight transportation**. European Journal of Operations Research, Vol. 97, 1997, 408-439.
- Darzentas, J. e Spyrou, T. - **Ferry traffic in the Aegean Islands: a simulation study**. Journal of Operational Research Society, Vol. 47, 1996, 203-216.
- Ehrlich, P.J. - **Engenharia Econômica, Avaliação e Seleção de Projetos de Investimento**. Editora Atlas S.A., São Paulo, 1989.

- Eom, S.B.; Lee, S.M.; Kim, E.B. e Somarajan, C. - **A survey of decision support system applications (1988-1994)**. Journal of Operational Research Society Vol. 49, 1998, 109-120.
- Hameri, A.P. e Paatela, A. - **Multidimensional simulation as a tool for strategic logistics planning**. Computers in Industry, Vol. 27, 1995, 273-285.
- Harrington, T.C.; Lambert, D.M.; e Sterling, J.U. - **Simulating the financial impact of marketing and logistics decisions**. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 22 No. 7, 1992, 3-12.
- Keefer, D.L. - **Determining transportation requirements for development of a major oil field**. Interfaces, Vol. 26, No. 1, 1996, 131-132.
- Kent Jr., J.L. e Flint, D.J. - **Perspectives on the evolution of logistics thought**. Journal of Business Logistics, Vol. 18, No. 2, 1997, 15-29.
- Knepell, P.L. e Arangno, D.C. - **Simulation validation: a confidence assessment methodology**. IEEE Computer Simulation Press, Los Alamitos - California, 1993.
- Kondratowicz, L.J. - **Simulation methodology for intermodal freight transportation terminals**. Simulation, July 1990, 49-57.
- Lehaney, B. e Paul, R.J. - **The use of soft systems methodology in the development of a simulation of out-patient services at Watford General Hospital**. Journal of Operational Research Society, Vol. 47, 1996, 864-870.
- Lima Jr., O.F. - **Metodologia para concepção e dimensionamento de terminais multimodais de pequeno e médio porte**. Dissertação

apresentada à EPUSP para obtenção do título em Mestre em Engenharia, São Paulo, 1988.

McClelland, M. K. - **Using simulation to facilitate analysis of manufacturing strategy**. Journal of Business Logistics, Vol. 13, No. 1, 1992, 215-237.

MERCEDES-BENZ - **Administração do Transporte de Carga: Planejamento e Racionalização**. Apostila, 2a. Edição, 1992.

Mesquita, M.A. - **Estudo de sistemas fechados de filas em transporte fluvial**. Dissertação apresentada à EPUSP para obtenção do título em Mestre em Engenharia, São Paulo, 1994.

Meyer, P. L. - **PROBABILIDADE Aplicações à Estatística**. Livros Técnicos e Científicos, 2ª Edição, Rio de Janeiro, 1983.

Morris, W. - **On the art of modeling**. Management Science, Vol. 13, No. 12, 1967, B-707 - B-717.

Moynihan, G.P.; Raj, P.S.; Sterling, J.U. e Nichols, W.G. - **Decision support system for strategic logistics planning**. Computers in Industry, Vol. 26, 1995, 75-84.

Nersesian, R.L. e Swartz, G.B. - **Computer simulation in logistics: with Visual Basic Application**. Quorum Books, Westport - Connecticut, 1996.

Pedgen, C.D.; Shannon, R.E. e Sadowski, R.P. - **Introduction to simulation using SIMAN**. Editora McGraw-Hill, Inc., New York, 1995.

Pidd, M. - **Modelagem empresarial: ferramentas para tomada de decisão**. Editora Bookman, Porto Alegre, 1998.

Pires Jr., F. C. M. – **Custo de Transporte Aquaviário**. Apostila da COPPE/UFRJ, 1989.

Riva, J. C. T.; Aranha, S. B. A.; Takahashi, G. A. **Hidrovia Tietê-Paraná, Embarcações Tipo, Características e Dimensões**. São Paulo, CESP, março/95, (Série Pesquisa e Desenvolvimento, 118).

Yellig, E.J. e Mackulak, G.T. - **A comparison of simulation modeling roles: business process reengineering vs. manufacturing**. Proceeding of the 1996 Western Multiconference / Business and Managerial Decision-Making Conference, 1996, 29-36.

ANEXO I - BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

I - Revisão Bibliográfica sobre o Sistema Integrado de Transporte utilizando a Hidrovia Tietê-Paraná

I.1 - Assuntos Gerais

- 01 - Riva, J. C. T., **Hidrovia Tietê-Paraná**. Revista "Politécnica", nr.188, pág. 42, 1985.

Este artigo fornece de forma sucinta uma visão global da hidrovia, descrevendo sua área de influência, extensão, barragens e potencial hidroelétrico destas, cargas, comboios típicos e benefícios econômicos.

- 02 - Machado, F., "**Tietê-Paraná - O Caminho de 2300 km do Futuro Paulista**", Revista "Portos e Navios", nr. 321, Vol. XXIX, maio de 1986.

Este artigo mostra a importância da hidrovia, baseando-se nos benefícios sócio-econômicos dela advindos, tais como a criação de novos pólos industriais e agrícolas e como consequência direta, a geração de empregos e a interiorização do turismo (atividades inseridas dentro de um programa de aproveitamento múltiplo das águas).

Além da caracterização da área de influência e das premissas (diretrizes) políticas que norteiam este projeto, é apresentada uma descrição da malha ferroviária do estado de São Paulo, a qual constitui um importante elo do sistema intermodal de transporte.

São feitas previsões para transporte de cargas na hidrovia para o ano de 2005 e também considerações sobre a importância dos terminais (pontos de transbordo), baseados na experiência da Usina Diamante desde a década de 80, quando iniciou a operação na chamada Hidrovia do Alcool.

- 03 - Giraldo, A., **Programa Hidroviário do Sistema Paraná-Tietê**. Revista "Portos e Navios", v.27, nr.304, pág. 44-45, fev. 1985.

Trata-se de um artigo, que mesmo sendo de 1985, é válido por apresentar uma definição clara de objetivos e uma visão global do projeto que é um potente veículo para o desenvolvimento social e econômico de larga parcela da população brasileira.

É mostrada a área de influência e o potencial energético da hidrovia, além de parâmetros (taxa média interna de retorno, valor médio da relação benefício/custo, taxa de retorno no primeiro ano) que levou ao BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - a aprovar um financiamento ao Programa de Navegação proposto pela CESP.

Além disso, são discutidos os benefícios advindos da hidrovia, tais como: redução de fretes e de consumo de combustível, criação de empregos (diretos e indiretos/induzidos), reformulação da atividade agrícola, valorização dos terrenos marginais, turismo/lazer e o importante aspecto da conservação de rodovias.

04 - **Panorama da Situação Atual do Sistema Hidroviário Paraná-Tietê.**

Revista "Engenharia", nr. 430, pág. 6 - 20, 1981.

Este trabalho faz uma descrição dos rios Tietê e Paraná, apresenta as obras já efetuadas até aquele momento, o que estava sendo projetado e/ou construído e o que ainda era necessário fazer para implantação do sistema Tietê-Paraná, para transformar-lá numa hidrovia segura e moderna.

Finalmente é salientada a orientação que norteou a CESP na implantação da hidrovia do Álcool, visando dar início efetivo à navegação comercial naquela área do Estado de São Paulo.

I.2 - Comboios

- 05 - Botter, R. C. e Gualda, N. D. F. **Modelo para Determinação da Características Ótimas de um Comboio-Tipo.** IX Congresso Nacional de Transportes Marítimos e Construção Naval, Rio de Janeiro, 27 a 30 de setembro de 1982. Trabalho nº 406 dos Anais.

"O trabalho apresenta as principais características de um modelo para determinação da configuração ótima de um comboio-tipo que atende às restrições físico-operacionais de uma hidrovia, às demandas de carga a serem transportadas e à estrutura de custos associada. Ênfase é dada à sistemática de geração de embarcações alternativas e busca da solução que melhor atende aos objetivos do transporte em questão.

Pretende-se que o modelo forneça, ao planejador de transportes, condições para analisar a viabilidade econômico operacional da implantação do transporte fluvial em uma dada hidrovia brasileira."

O programa de computador descrito neste texto calcula as dimensões ótimas do comboio fluvial baseando-se nos dados de entrada: Características da via navegável, portos, eclusas, demanda de cargas, método de busca desejado (exaustivo ou Hook & Jeeves).

06 - Brinati, M. A. **Influência das Condições de Operação Portuária sobre o Dimensionamento de Comboios Fluviais.** VIII Congresso Pan-Americano de Engenharia Naval, Transportes Marítimos e Engenharia, Washington, D.C., EUA 1983.

"Este trabalho mostra uma análise comparativa de duas formas básicas de operação de comboios fluviais, com o objetivo de se decidir se o empurrador deve aguardar ou não pelo atendimento das barcas nos portos.

Inicialmente é apresentado e resolvido um modelo de fila para determinar o tempo de espera dos empurradores nos portos. A seguir, procede-se uma análise econômica para definir a configuração de operação dos comboios; desta análise conclui-se que a escolha da configuração depende de dois parâmetros adimensionais: um de natureza operacional - o índice de congestionamento dos portos e outro de natureza econômica - a relação entre os custos de aquisição do conjunto de barcas e do empurrador que compõem o comboio. Na parte final, os resultados do modelo de fila e da análise econômica são utilizados para o dimensionamento de uma frota de comboios fluviais; para cada par dos valores dos parâmetros, determina-se a configuração operacional economicamente mais eficiente."

- 07 - Riva, J. C. T.; Aranha, S. B. A.; Takahashi, G. A. **Hidrovia Tietê-Paraná, Embarcações Tipo, Características e Dimensões**. São Paulo, CESP, março/95, (Série Pesquisa e Desenvolvimento, 118).

Este trabalho descreve os aspectos físicos da hidrovia, as características das rotas de navegação, o gabarito de toda a hidrovia, as embarcações tipo e os seus requisitos de projeto e por fim o uso de comboios múltiplos.

- 08 - SUNAMAM **Instruções para Apresentação do Preço de Embarcações financiadas pela SUNAMAM**. Ordem de Serviço nr. 05/82.

Esta Ordem de Serviço tem por objetivo estabelecer as normas de apresentação do preço de construção de embarcações financiadas pela Superintendência Nacional da Marinha Mercante. São apresentados quatro quadros que devem ser preenchidos: I - Informações Gerais da Embarcação, II - Composição do Preço de Venda, III - Custos Diretos e IV - Despesas Diretas de Produção.

I.3 - Modelos de Filas e de Simulação

- 09 - Tonon, V. J., Ramalho, E. W. e Brinati, M. A.. **Determinação dos Tempos de Espera e Transposição de uma Eclusa**. VII Congresso Pan-Americano de Engenharia Naval, Transportes Marítimos e Engenharia Portuária, Chile, 1981.

Este trabalho visa estimar os tempos de espera e transposição de eclusas, visto que a quantificação destes tempos é necessária para o cálculo dos custos de transporte e determinação do tempo total de viagem. Com base nestes dados pode-se dimensionar a frota de modo que esta atenda a demanda do sistema.

O processo de chegada e atendimento de embarcações em uma eclusa é de natureza aleatória. A determinação do tempo médio de espera se faz pela solução de processos estocásticos conhecidos

como processos de fila. Este trabalho utiliza para solução do modelo o procedimento analítico numérico G/G/1.

- 10 - Miura, R.H.; Cordeiro, B; Brinati, M. A.; e Botter, R. C. **Avaliação Econômica-Operacional do Transporte Integrado do Álcool da Região de Araçatuba Utilizando a Modalidade Hidroviária**. 11o. Congresso Nacional de Transportes Marítimos de Construção Naval, Vol. IV, pág. 229-245, Rio de Janeiro, out., 1986.

O trabalho examina a viabilidade econômica de substituir a alternativa atual - transporte rodo-ferroviário do álcool da região de Araçatuba até Paulínea - por um sistema rodo-hidro-ferroviário, no qual o álcool é transportado em comboios fluviais desde um terminal de embarque próximo à barragem de Nova Avanhandava até o terminal de desembarque cerca de Pederneiras.

O ponto central do trabalho é a simulação das diversas modalidades de transporte e de sua integração nos terminais fluviais; para o transporte fluvial são consideradas duas opções, conforme haja ou não desmembramento dos comboios nos terminais.

I.4 - Avaliação da Demanda e dos Custos do Transporte Intermodal

- 11 - Novaes, A. G. N. **Demanda de Transporte de Calcário Agrícola no Estado de São Paulo por Hidrovia**. In: Novaes, A. G. N., Métodos de Otimização. São Paulo, Edgard Blücher Ltda, 1978, pág.392-411.

Este estudo visa analisar as condições potenciais de transporte de calcário agrícola nos rios Tietê e Paraná, a partir de suas jazidas principais (região que compreende Rio Claro até Itapetininga).

Após delimitada a região de consumo deste produto, foram estudadas as alternativas de transporte e seus custos. Para estas alternativas foram comparadas: hidrovia x rodovia, hidrovia x ferrovia e ferrovia x rodovia, chegando a regiões ou áreas de influência onde cada modal representa a forma mais econômica de transporte, para satisfazer a demanda existente.

Este trabalho é muito interessante pela visão da malha rodo-ferro-hidroviária da região centro-oeste do estado de São Paulo, além da metodologia exposta para a determinação da função custo total de transporte.

- 12 - Balau, J. A. C. **Otimização de Comboio Integrado de Chatas para Transporte de Bauxita na Amazônia.** São Paulo, 1981, Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

O objetivo deste problema de otimização é a determinação da frota que apresente custo anual total mínimo para o transporte de bauxita desde a sua jazida a montante da foz do rio Trombetas até a Usina Siderúrgica localizada em Vila do Conde, atendendo, por outro lado, as necessidades de transporte e as restrições da hidrovía.

Primeiramente é feita uma apresentação do problema e do sistema de transporte. São então estabelecidas relações funcionais básicas necessárias para o equacionamento do problema, são elas: potência para propulsão, deslocamento leve e capacidade de carga, tempo de viagem e produção anual por comboio. Depois são estabelecidas as relações de custo: custo de construção das chatas, custo de aquisição do empurrador, custo anual de óleo combustível, custo anual de manutenção e reparos da frota, custo anual com tripulação e administração, custo anual de seguro e custo anual de amortização dos investimentos. A seguir são descritas as restrições impostas pelas características físicas da via fluvial. É feita a formalização do problema de otimização e por último são apresentados os resultados obtidos.

- 13 - Botter, R.C.; Roque, J.R.R.; Gouvêa, M.T. e Souza, C.L.P. **Dimensionamento de um Sistema Integrado de Transporte de Álcool e Óleo Diesel na Região de Influência da Hidrovia Tietê-Paraná.** Revista "Cadernos de Tecnologia", nr. 1, pág. 11-26, Centro Estadual de Educação Tecnológica "Paula Souza", agosto de 1991.

"O artigo trata do desenvolvimento dos modelos operacional e de avaliação econômica para um sistema integrado de transporte de

álcool e óleo diesel na região de influência da hidrovía Tietê-Paraná. No modelo operacional merecem destaque especial:

I) o acompanhamento de todos os veículos que compõem o sistema, sejam eles comboios fluviais, comboios ferroviários ou caminhões;

II) a forma em que se revela a influência da tancagem dos terminais intermodais sobre a transferência de carga, com eventual bloqueio desta operação;

III) as operações de transposição das eclusas.

No modelo de avaliação econômica são considerados os custos dos diferentes modos de transporte do sistema integrado - rodoviário, hidroviário, dutoviário e ferroviário e também os custos dos terminais intermodais e de imobilização de carga.”

- 14 - Reinig, W.A.. **Hidrovía Tietê-Paraná: Apresentação de Parâmetros Básicos para Comparação Indicativa entre os Modais Hidroviário x Ferroviário x Rodoviário**. São Paulo, CESP, Set/ 1994 (Série Pesquisa e Desenvolvimento 115).

Este trabalho visa fornecer elementos informativos que permitam a comparação entre os três modais, hidroviário x ferroviário x rodoviário, baseando-se nas características específicas de cada um. As comparações são baseadas em hipóteses e parâmetros obtidos por informações reais. A opção mais otimizada de transporte é claramente a interligação dos três modais. Com um melhor planejamento é possível atingir a redução de custos de transporte e melhores condições de comercialização e competitividade para os produtos transportados.

- 15 - Novaes, A. G. **Custos e Características Operacionais do Transporte Hidroviário**. São Paulo, TRANSESP, 1978.

Este trabalho apresenta uma metodologia de análise e planejamento com enfoque no modal hidroviário.

O estudo segue às seguintes etapas:

a) Análise da composição dos custos do transporte hidroviário;

- b) Análise das tarifas do transporte fluvial e de utilização de portos;
- c) Avaliação das condições operacionais das eclusas, levando à determinação dos tempos de passagem e de espera;
- d) Definição das características físicas e operacionais das embarcações e dos comboios típicos;
- e) Estimativa das capacidades de armazenagem nos pontos de transbordo, principalmente para o caso de cereais em grãos;
- f) Elaboração de um modelo de simulação da operação fluvial, envolvendo:

- i) um conjunto de fluxos variando espacial, temporalmente e por categoria de produto transportado;

- ii) a rede hidroviária, composta pelos portos, eclusas e distâncias;

- iii) uma frota composta por um conjunto de comboios padrões, sobre os quais o modelo seleciona a melhor configuração, através de critério de mínimo custo operacional.

Como resultado, temos: custos de transportes; investimentos em embarcações; tempos de percurso, de passagem em eclusas, de carga e descarga, etc.; características dos comboios; e capacidade dos "links".

16 - SPT, Sistema de Planejamento de Transportes do Estado de São Paulo - Transesp, **Custos e Características Operacionais do Transporte Hidroviário**. Manual Descritivo e do Usuário.

Este trabalho é um manual descritivo de um programa de computador para estimativa do custo da tonelada transportada para o sistema hidroviário Tietê-Paraná. Este programa provavelmente foi elaborado com base no texto anterior: Custos e Características Operacionais do Transporte Hidroviário.

17 - Fernandes A. S., Pasqualini J. C., Tobias H. **Estudo de Viabilidade do Transporte Hidroviário de Alcool da Região de Araçatuba**. São Paulo, CESP, 1985.

Este trabalho apresenta um estudo sobre a utilização integrada do transporte na região de Araçatuba visando maior barateamento do

custo do transporte de álcool, bem como a economia de óleo diesel por m³ de álcool transportado. São propostas duas alternativas para os horizontes de 1986 e 1989. Na primeira o transporte de toda a produção é feita pelos três modais, rodoviário, hidroviário e ferroviário, interligados. Na segunda, chamada de mista, se prevê uma complementação entre os modais ferro e hidroviário, parte da produção é escoada pelo modal hidroviário e a outra parte pelo modal ferroviário. Para comparação das alternativas são analisados o consumo de combustível e os fretes de cada uma.

- 18 - Diretoria de Hidrovias e Desenvolvimento Regional; Departamento de Hidrovias **Hidrovia Tietê-Paraná: Intermodalidade de Transportes**. São Paulo, CESP, Outubro/92.

Este trabalho inicia com uma descrição física da hidrovia Tietê-Paraná, dos trechos navegáveis (extensão navegável), do gabarito da hidrovia (atual e previsto) e das obras de complementação. Descreve a seguir a intermodalidade e os corredores de transporte. É feita então uma análise da situação atual, do potencial de produção anual e dos principais centros produtores/consumidores e das principais cargas hidroviáveis (grãos e farelo; fertilizantes e calcário agrícola; madeira, papel e carvão vegetal; álcool e derivados de petróleo; gado; cana-de-açúcar). Segue uma descrição das cargas transportadas e dos fretes e custos de transporte. Encerrando, somos alertados sobre a importância da atuação da iniciativa privada, com o objetivo de se alcançar desenvolvimento regional (incluindo atividades industriais e comerciais, desenvolvimento do setor agrícola com projetos de irrigação, preservação do meio ambiente, turismo, lazer, esportes e cultura).

- 19 - Reinig, W. A. **Estudo sobre a Distribuição de Derivados de Petróleo na Hidrovia Tietê-Paraná**. São Paulo, CESP, Setembro/94. (Série Pesquisa e Desenvolvimento, 116)

Este trabalho apresenta dados e informações que visam demonstrar a viabilidade e vantagens decorrentes da utilização do transporte hidroviário para derivados de petróleo, na região de influência da

hidrovia Tietê-Paraná. São apresentadas tabelas de fretes e opções de transporte e um estudo sobre custo operacional de transporte hidroviário para transporte de combustíveis.

- 20 - Riva, J. C. T. **Intermodalidade de Transporte Hidrovia-Ferrovia: Opção obrigatória para o Desenvolvimento Brasileiro.** Revista "Portos e Navios", pág. 44-46, mar./abr. 1990.

É um artigo que aborda aspectos gerais do transporte de cargas no Brasil. Mostra a evolução de um sistema que visou desde o início de sua formação, o modal rodoviário, resultando hoje, numa modesta participação de 1% de carga transportada através da navegação interior. São apresentadas as causas do frete fluvial brasileiro não ser competitivo, como também as soluções para viabilizar este meio de transporte.

São também propostos princípios para a efetivação do transporte intermodal (hidrovia - ferrovia) de maneira a garantir um maior desenvolvimento baseado em menores custos. É mostrada uma relação entre as principais malhas modais brasileiras (também descritas sumariamente) e os pólos de desenvolvimento.

Encerrando, temos uma comparação entre os custos dos diferentes modos de transporte.

- 21 - Masella, M.M.B. **Estudo de Custos de Transporte Rodo-Ferro-Hidroviário, Caso do Corredor Ijuí-Rio Grande.** Instituto Militar de Engenharia, Tese de Mestrado, Rio de Janeiro, fevereiro de 1979.

"Dentre as medidas mais eficientes a curto prazo num sistema de transporte, estão aquelas voltadas para a área operacional. Tal fato decorre da possibilidade de se conseguir, em muitos casos, economias substanciais sem grandes investimentos. Para tanto será importante reconhecer onde estão os pontos críticos a merecerem maior atenção. Este trabalho aborda o tema, ao realizar um estudo comparativo de custos do deslocamento entre dois polos ligados por rotas que incluem tres modalidades alternativas de transporte para um mesmo produto. Assim ao selecionar um por origem-destino e um só produto torna-se

mais simples estudar cada modalidade e o inter-relacionamento entre elas.

Inclui-se ainda, um método gráfico para cálculo do percurso e do consumo de um trem, de fácil aplicação e que apresentou resultados bastante precisos no trecho em que foi utilizado.”

- 22 - Lucci, M.A.S. **Tarifação Ferroviária, Análise e Proposições de Reformulação**. Instituto Militar de Engenharia, Tese de Mestrado, Rio de Janeiro, dezembro de 1980.

“O trabalho apresenta algumas proposições para reformulação de estrutura tarifária em uso na maior parte das ferrovias brasileiras, fundamentando-se em uma avaliação da tarifação atual. São mostrados inicialmente os conceitos de custos e tarifação, bem como os estudos realizados nas ferrovias sobre estes assuntos. A seguir é feita uma avaliação da estrutura tarifária no tocante aos aspectos do nível geral das tarifas e das tarifas das mercadorias em diversos percursos. As proposições de alteração referem-se ao nível das tarifas e à cobrança do frete por vagão e por peso transportados, com uma exemplificação do sistema proposto.”

- 23 - Azevedo C. **Transporte Rodoviário de Cargas, Custos e Tarifação**. Euler S.A. Engenharia e Consultoria, Rio de Janeiro, 1979.

Este texto refere-se a uma palestra proferida no Clube de Engenharia, em 27 de junho de 1979, pelo Eng. Carlos Azevedo, a convite da American Association of Cost Engineers. O texto divide-se em capítulos: introdução sobre os aspectos gerais, custo de transporte rodoviário de cargas, tarifação no transporte rodoviário de cargas, estruturas sindicais de empresas e carreteiros, Comitê Nacional Routier - tarifação francesa e conclusões.

- 24 - Giraldo, A. **Hidrovia Tietê-Paraná: Relatório de Movimentação de Cargas -1994**. São Paulo, CESP, 1995. (Série Indicadores, 025).

Este trabalho publicado pela CESP contém dados estatísticos da movimentação de carga e transportes de passageiros (turismo) na hidrovia Tietê-Paraná.

Informações constantes:

- carga transportada (ton)
- produção de transportes (tku)
- economia de combustíveis (lts/ano e US\$)
- empresas já instaladas no sistema fluvial
- empresas com projeto de instalação em 1995
- tabela e gráfico de cargas transportadas e passageiros eclusados dos últimos 20 anos
- tabela e gráfico da movimentação mensal de cargas e de passageiros eclusados
- tabela de quantidade e percentual de cargas transportadas na hidrovia (1993 e 1994)
- tabela e gráfico da produção de transportes da hidrovia (1993 e 1994)
- tabela e gráfico do tráfego de embarcações por eclusas (1993 e 1994)
- tabela e gráfico do movimento de cargas na hidrovia nos últimos 12 meses de 1994.

I.5 - Logística e Enfoque Sistêmico

- 25 - Roque, J.R.R. **Logística e Estratégia do Transporte Marítimo “Offshore”** (Módulos: 1 e 2.1), Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, junho de 1995.

O módulo 1 deste trabalho se dedica ao Enfoque Sistêmico para resolução de problemas. São descritas as seguintes etapas que compõem o procedimento sistêmico: definições básicas de sistema, subsistemas e componentes, restrições ou ambiente do sistema,

recursos do sistema, coleta de dados, geração de alternativas, avaliação e seleção das alternativas e implementação, validação e feed-back.

O módulo 2.1 mostra uma metodologia para ser utilizada na avaliação econômica de sistemas de transporte marítimo. Para fins de uma estimativa preliminar o custo total anual é dividido em custos de capital e custos operacionais. São apresentadas algumas metodologias para estimativas de custos em fases preliminares do projeto do navio e um modelo para a estimativa dos custos operacionais. Estes modelos de custo podem ser implementados em uma planilha eletrônica podendo-se assim analisar o sistema quanto a sua sensibilidade, desvios e cenários de mercado.

I.6 - Avaliação Econômica

- 26 - Adler, H. A. **Avaliação Econômica dos Projetos de Transporte**. Livros Técnicos e Científicos Editora, 1978.

Este livro tem por objetivo servir de guia para o planejamento de investimentos no setor de transportes e procura orientar uma avaliação econômica destes investimentos. Os temas abordados são: avaliação e delimitação de projetos, programas setoriais de transporte, preços de transporte, estatísticas, custos econômicos, previsão de tráfego, benefícios econômicos, comparação de custos e benefícios e exemplos.

- 27 - Ehrlich, P.J. **Engenharia Econômica, Avaliação e Seleção de Projetos de Investimento**. Editora Atlas S.A., São Paulo, 1989.

A finalidade deste texto é apresentar critérios que possam avaliar a rentabilidade dos investimentos, comparando as alternativas existentes e auxiliando o processo decisório da escolha das melhores alternativas. São expostos os conceitos de Matemática Financeira e a maneira como se deve utilizar tal ferramental. A Engenharia Econômica

propõem-se a resolver o caso mais simples no qual o universo é determinístico e só consideramos um atributo: o financeiro. Por ser o mais simples, ele é de longe o mais utilizado e um ponto de partida essencial para qualquer análise mais complexa.

- 28 - Ludícibus, S. **Contabilidade Introdutória**. Editora Atlas S.A., 6a Edição, São Paulo, 1983.

Este livro se dedica ao ensino fundamental da Contabilidade, a qual é a metodologia especialmente concebida para captar, registrar, acumular, resumir e interpretar os fenômenos que afetam as situações patrimoniais, financeiras e econômicas de qualquer ente, seja este pessoa física, entidade de finalidades não-lucrativas, empresa, ou mesmo pessoa de Direito Público.

- 29 - Martins, E. **Contabilidade de Custos**. Editora Atlas S.A., 2a Edição, São Paulo, 1983.

Este texto enfoca a contabilidade de custos como instrumento de fins gerenciais, faz-se uma ligação entre a área teórica da microeconomia com problemas específicos da empresa. Destaca-se a utilização da contabilidade de custos para as funções de controle e previsão e tem-se uma avaliação crítica da implantação de sistemas de custos.

Anexo II - Planilha de Custos do Modal Hidroviário

Parâmetros Estáticos		
Número de empurradores	5	
Número de chatas	10	
Custo de aquisição empurrador (R\$)	820.000,00	
Custo de aquisição chatas (R\$)	400.000,00	
Taxa retorno capital (%)	12,00	
Imposto de renda (%)	35,00	
Valor residual / custo aquisição	0,30	
Vida útil empurrador (anos)	15	
Vida útil chatas (anos)	20	
Capacidade carga comboio (t)	2.200	
Velocidade média comboio (nós)	7,50	
Potência instalada motor (hp)	740	
Custo do combustível (R\$/l)	0,35	
Custo do lubrificante (R\$/l)	4,00	
Consumo específico combustível (kg/hp/h)	0,17	
Consumo específico lubrificante (kg/hp/h)	0,002	
Peso específico combustível (kg/l)	0,85	
Peso específico lubrificante (kg/l)	0,90	
Taxa seguro anual empurrador (%)	1,50	
Taxa seguro anual chatas (%)	1,50	
Percentual custo manutenção empurrador (%)	5,00	
Percentual custo manutenção chatas (%)	3,00	
Número de tripulantes	8	
Salário total tripulação (R\$)	3.600,00	
Encargos sociais (%)	89,17	
Distância entre portos (mn)	351	
Custo de alimentação diário por tripulante (R\$)	6	
Taxa Dolar Comercial Venda	1,80	
Taxa de Lucro (%)	15	
Parâmetros Dinâmicos		
Dias de operação por ano (dias)	360	
Fator utilização potência motor (%)	65	
Total de carga transportada no período (t)	594000	
Custos Viagem:		
CLDHP=	1,89	R\$/hp dia
TCV_dia=	910,69	R\$/dia
TCV_t=	2,76	R\$/t
Custos Operação:		
Calculo da depreciação da embarcação por dia		
DR1=	106,30	
DR2=	38,89	
DR_dia=	920,37	R\$/dia
DR_t=	0,56	R\$/t
Calculo do seguro casco das embarcações, por dia		
CSR1=	34,167	
CSR2=	16,667	
CSR=	337,50	R\$/dia

Calculo do custo de manutenção, reparos e docagem, por dia		
CMR1=	113,889	
CMR2=	33,333	
CMR=	902,78	R\$/dia
Calculo do custo de alimentação com a tripulação, por dia		
CRR=	243,33	R\$/dia
Calculo do custo de salarios com a tripulação, por dia		
CTR=	1.150,78	R\$/dia
Calculo dos custos diversos, por dia		
ODR=	486,67	R\$/dia
Calculo dos custos administrativos, por dia		
CAD=	990,43	R\$/dia
Total Custos Operacionais:		
TCO_dia=	4.111,49	R\$/dia
TCO_t=	2,49	R\$/t
Custo de Capital:		
FPR1=	0,147	
FPR2=	0,134	
REMK1=	334,43	
REMK2=	148,75	
TCC_dia=	3.159,71	R\$/dia
TCC_t=	1,91	R\$/t
Sub Total:	7,17	R\$/t
Lucro:	1,07	R\$/t
Valor Base p/IR:	0,52	R\$/t
Imposto de Renda:	0,18	R\$/t
Novo Lucro:	1,35	R\$/t
ISS, PIS, CONFINS:	0,65	R\$/t
Frete:	9,17	R\$/t

Figura III.1 - Chegada e Pesagem dos Caminhões em São Simão (GO)

Figura III.2 - Descarregamento dos Caminhões

Figura III.3 - Chegada do Comboio em São Simão (GO)

Figura III.4 - Carregamento do Comboio

Figura III.5 - Reposicionamento da Chata junto ao Berço

Figura III.6 - Formação do Comboio

Figura III.7 - Passagem pelo Canal de Pereira Barreto

Figura III.8 - Passagem por uma Eclusa

Figura III.9 - Terminal Intermodal de Pederneiras (SP)

Figura III.10 - Interface Ferroviária do Terminal Intermodal de Pederneiras (SP)

Figura III.11 - Descarregamento do Comboio Fluvial

Figura III.12 - Frota Aguardando Início da Viagem de Retorno

Anexo IV - Telas do Modelo de Simulação

Figura IV.1 - Definição das Variáveis, Expressões e Recursos

Figura IV.2 - Leitura dos Dados de Entrada

Figura IV.3 - Gravação dos Resultados da Simulação

Modal Hidroviário

Figura IV.4 - Criação das Embarcações e Posicionamento ao Longo da Hidrovia

Figura IV.5 - Terminal Intermodal de Pederneiras (SP)

Figura IV.6 - Terminal Intermodal de São Simão (GO)

Figura IV.7 - Tramos Hidroviários

Figura IV.8 - Chegada à Eclusa

Figura IV.9 - Transposição da Eclusa

Figura IV.10 - Tela de Monitoramento do Processo de Eclusagem

Figura IV.11 - Cômputo dos Estoques Médios

Figura IV.12 - Definição de Estatísticas

Figura IV.13 - Elementos de Monitoramento das Tancagens

Figura IV.14 - Tela de Monitoramento do Tráfego de Embarcações

Figura IV.15 - Tela de Animação do Modelo

Anexo V - Listagem do Arquivo de Experimentos

```

PROJECT,      Hidrovia TieteParana,Andre,21/04/99;

CONTINUOUS,    6,,0.005,0.050,,Euler,No;

ATTRIBUTES:   chegada_ferro:
               frota_propria:
               chegada_hidro:
               inicio_operacao:
               alocou_terminal:
               aguarda_empurrador:
               carga_retorno:
               chegada_eclusa:
               eclusa:
               SetIndex:
               inicio_carga:
               chegada_rodos:
               inicio_eclusagem:
               QueueTime:
               conta:
               primeira_viagem:
               inicio_descarga:
               prioridade_eclusagem:
               inicio_tvr;

FILES:         saida,"d:\usuarios\andre\tese\modelo\saida\saida005.wks",(),WKS File:
               dados,"d:\usuarios\andre\tese\modelo\dados\dados_otimo.wks",(),WKS
File,Dispose;

VARIABLES:    aux:
               interv_trem,0:
               num_vagoes,0:
               desmembra,0:
               taxa_desc_caminhao,0:
               taxa_desc_armazem_destino,0:
               conjunto_simao,0:
               taxa_carreg_comboio,0:
               num_comboios,0:
               outras_emb,0:
               tempo_desmembra,0:
               tempo_descarrega_retorno,0:
               simples,0:
               taxa_desc_armazem_origem,0:
               taxa_carreg_armazem_origem,0:
               tempo(10),0,0,0,0,0,0,0,0,0,0:
               total_transp_ferro:
               cap_vagao,0:
               taxa_armazem_destino,0:
               total_transp_rodos:
               taxa_carreg_trem,0:
               taxa_armazem_origem,0:
               interv_cam,0:
               cap_cam,0:
               conjuntos_extra_simao,0:
               cvl,0:
               cap_comboio,0:
               nivel_max_armazem_origem,0:
               taxa_desc_comboio,0:
               taxa_carreg_armazem_destino,0:
               tempo_carrega_retorno,0:
               nivel_max_armazem_destino,0:
               nivel_agua(5),0,0,0,0,0:
               vessels(17):
               eclusa_livre(5),1,1,1,1,1:
               num_viagens_hidro:
               carga_transito;

QUEUES:       fem_ibitinga:
               fila_destino_hidro,FirstInFirstOut:
               fej_nova_avanhandava:
               fej_ibitinga:
               fila_origem_chatas,FirstInFirstOut:
               fila_empurradores_aguardando,FirstInFirstOut:

```

```

fej_promissao:
fem_promissao:
fem_nova_avanhandava:
fej_barra_bonita:
fej_bariri:
fila_origem_ferro,FirstInFirstOut:
fila_origem_hidro,FirstInFirstOut:
fem_bariri:
fila_chatas_carregadas,FirstInFirstOut:
fila_destino_rod0,FirstInFirstOut:
fem_barra_bonita;

PICTURES:      empurrador:
                comboio_vazio_outros:
                chata_vazia:
                trem:
                comboio_cheio_outros:
                Default:
                chata_cheia:
                comboio_vazio:
                caminhao:
                comboio_cheio;

FAILURES:      NoiteEclusa,Time(1440,0,);

RESOURCES:     eclusa_promissao,Capacity(1,,-,Stationary,FAILURE(NoiteEclusa,Ignore):
eclusa_barra_bonita,Capacity(1,,-,Stationary,FAILURE(NoiteEclusa,Ignore):
terminal_destino_ferro,Capacity(1,,-,Stationary:
terminal_destino_hidro,Capacity(1,,-,Stationary:
eclusa_bariri,Capacity(1,,-,Stationary,FAILURE(NoiteEclusa,Ignore):
eclusa_nova_avanhandava,Capacity(1,,-
,Stationary,FAILURE(NoiteEclusa,Ignore):
eclusa_ibitinga,Capacity(1,,-,Stationary,FAILURE(NoiteEclusa,Ignore):
terminal_origem_ferro,Capacity(1,,-,Stationary:
terminal_origem_hidro,Capacity(1,,-,Stationary:
terminal_destino_rod0;

STATIONS:      saida_montante_nova_avanhandava:
                saida_montante_barra_bonita:
                montante_barra_bonita:
                station_pederneiras:
                station_foz_paranaiba0:
                fila_m_promissao:
                saida_jusante_barra_bonita:
                saida_montante_promissao:
                station_foz_sjd0:
                station_foz_paranaibal:
                station_saida_rod0:
                eclusa_j_promissao:
                eclusa_m_promissao:
                station_foz_sjdl:
                eclusa_j_barra_bonita:
                montante_ibitinga:
                saida_jusante_bariri:
                eclusa_m_ibitinga:
                fila_m_nova_avanhandava:
                station_terminal_terceiros_simao:
                station_origem_ferro:
                eclusa_m_barra_bonita:
                station_destino_ferro:
                saida_montante_bariri:
                eclusa_j_ibitinga:
                station_destino_hidro:
                eclusa_m_nova_avanhandava:
                station_origem_hidro:
                saida_jusante_nova_avanhandava:
                fila_m_ibitinga:
                saida_montante_ibitinga:
                jusante_bariri:
                fila_j_bariri:
                station_destino_rod0:
                fila_m_bariri:
                jusante_promissao:
                eclusa_j_bariri:
                fila_j_ibitinga:
                jusante_nova_avanhandava:
                montante_bariri:

```



```

eclusa_m_bariri:
saida_jusante_ibitinga:
montante_promissao:
jusante_ibitinga:
montante_nova_avanhandava:
station_saida_pb0:
fila_j_nova_avanhandava:
saida_jusante_promissao:
station_entrada_pb0:
station_saida_pbl:
station_saida_terminal_simao:
station_entrada_pbl:
station_origem_rod0:
jusante_barra_bonita:
eclusa_j_nova_avanhandava:
station_saida_ferro:
fila_j_barra_bonita:
station_entrada_terminal_simao:
fila_m_barra_bonita:
fila_j_promissao;

COUNTERS:
total_transp_hidro,,Replicate:
num_viagens_rod0,,Replicate:
num_viagens_ferro,,Replicate;

TALLIES:
estoque_medio_destino:
tfem_ib:
estoque_medio_origem:
fila_origem_ferro Queue Time:
tejm_na:
fila_chatas_carregadas Queue Time:
temj_br:
tvr_hidro:
temj_bb:
tfcc_hidro:
fila_destino_hidro Queue Time:
tfej_ib:
tto_ferro:
temj_pr:
tacc_hidro:
tfo_ferro:
fila_destino_rod0 Queue Time:
tfo_hidro:
tto_hidro:
tocc_hidro:
tejm_ib:
temj_na:
tfem_br:
tfem_bb:
tt0_rod0:
tfem_pr:
tfej_br:
tfej_bb:
tfem_na:
fila_origem_chatas Queue Time:
temj_ib:
tfej_pr:
tejm_br:
tto_emp:
tejm_bb:
tfej_na:
tfd_hidro:
tccc_hidro:
tt0_hidro:
fila_origem_hidro Queue Time:
tfd_rod0:
tejm_pr;

DSTATS:
1,NQ(fem_barra_bonita),# Montante Barra Bonita:
2,NQ(fem_bariri),# Montante Bariri:
3,NQ(fem_ibitinga),# Montante Ibitinga:
4,NQ(fem_promissao),# Montante Promissao:
5,NQ(fem_nova_avanhandava),# Montante Nova Avanhandava:
11,NQ(fej_barra_bonita),# Jusante Barra Bonita:
12,NQ(fej_bariri),# Jusante Bariri:
13,NQ(fej_ibitinga),# Jusante Ibitinga:
14,NQ(fej_promissao),# Jusante Promissao:

```

```

15,NQ(fej_nova_avanhandava),# Jusante Nova Avanhandava:
Bonita: 41,NR(eclusa_barra_bonita)/MR(eclusa_barra_bonita),Ocupacao Eclusa Barra
42,NR(eclusa_bariri)/MR(eclusa_bariri),Ocupacao Eclusa Bariri:
43,NR(eclusa_ibitinga)/MR(eclusa_ibitinga),Ocupacao Eclusa Ibitinga:
44,NR(eclusa_promissao)/MR(eclusa_promissao),Ocupacao Eclusa Promissao:
45,NR(eclusa_nova_avanhandava)/MR(eclusa_nova_avanhandava),Ocupacao Eclusa
Nova Avanhandava:
NR(eclusa_bariri),eclusa_bariri Busy:
MR(eclusa_nova_avanhandava),eclusa_nova_avanhandava Available:
NR(eclusa_barra_bonita),eclusa_barra_bonita Busy:
NQ(fila_destino_rodo),# in fila_destino_rodo:
NQ(fila_destino_hidro),# in fila_destino_hidro:
NR(eclusa_promissao),eclusa_promissao Busy:
NQ(fila_origem_chatas),# in fila_origem_chatas:
MR(eclusa_bariri),eclusa_bariri Available:
NQ(fila_origem_hidro),# in fila_origem_hidro:
NQ(fila_origem_ferro),# in fila_origem_ferro:
NR(eclusa_nova_avanhandava),eclusa_nova_avanhandava Busy:
MR(eclusa_promissao),eclusa_promissao Available:
NQ(fila_chatas_carregadas),# in fila_chatas_carregadas:
MR(eclusa_barra_bonita),eclusa_barra_bonita Available:
NR(eclusa_ibitinga),eclusa_ibitinga Busy:
MR(eclusa_ibitinga),eclusa_ibitinga Available;

FREQUENCIES: STATE(eclusa_promissao):
STATE(eclusa_barra_bonita):
STATE(eclusa_bariri):
STATE(eclusa_nova_avanhandava):
STATE(eclusa_ibitinga);

REPLICATE, 1,0.0,172800,Yes,Yes,0;

EXPRESSIONS:
montante(5),montante_barra_bonita,montante_bariri,montante_ibitinga,montante_promissao,m
ontante_nova_avanhandava:
chegou_comboio_destino,1008:
TAC,norm(3.0,cv1*3.0):
TE,norm(16.8,cv1*16.8):
TV,norm(12.3,cv1*12.3):
carga_reposta_destino,1012:

fila_montante(5),fem_barra_bonita,fem_bariri,fem_ibitinga,fem_promissao,fem_nova_avanhan
dava:
carga_carregando,NR((terminal_origem_hidro)*nivel_comboio_origem:
chegou_caminhao,1009:
eclusagem_jm(2),TAL+TAC+TE+TS+(1-nivel_agua(eclusa))*TV,norm(120,cv1*120):

eclusa_montante(5),eclusa_m_barra_bonita,eclusa_m_bariri,eclusa_m_ibitinga,eclusa_m_prom
issao,
eclusa_m_nova_avanhandava:
fim_carga_armazem,1002:

tempo_hidro(5),norm(tempo(1),cv1*tempo(1)),norm(tempo(2),cv1*tempo(2)),norm(tempo(3),cv1
*tempo(3)),
norm(tempo(4),cv1*tempo(4)),norm(tempo(5),cv1*tempo(5)):
fim_carga_trem,1006:
tejm(5),tejm_bb,tejm_br,tejm_ib,tejm_pr,tejm_na:

eclusa_jusante(5),eclusa_j_barra_bonita,eclusa_j_bariri,eclusa_j_ibitinga,eclusa_j_promi
ssao,
eclusa_j_nova_avanhandava:

eclusas(5),eclusa_barra_bonita,eclusa_bariri,eclusa_ibitinga,eclusa_promissao,eclusa_nov
a_avanhandava:

fila_j(5),fila_j_barra_bonita,fila_j_bariri,fila_j_ibitinga,fila_j_promissao,fila_j_nova
_avanhandava:

call(3),1000+NC((total_transp_hidro)+NR(terminal_destino_hidro)*(cap_comboio-
nivel_comboio_destino),

total_transp_ferro+NR(terminal_origem_ferro)*nivel_trem,nivel_armazem_destino:
libera_montante(5),8001,8002,8003,8004,8005:

fila_m(5),fila_m_barra_bonita,fila_m_bariri,fila_m_ibitinga,fila_m_promissao,fila_m_nova
_avanhandava:

```

```

carga_95,1013:
fim_descarga_caminhao,1001:
fim_descarga_armazem,1003:
tfej(5),tfej_bb,tfej_br,tfej_ib,tfej_pr,tfej_na:
bal(4),8000+total_transp_rodos,

NC(total_transp_hidro)+carga_transito+NR(terminal_origem_hidro)*nivel_comboio_origem,

(NR(terminal_destino_hidro)+NQ(fila_destino_hidro))*cap_comboio,nivel_armazem_origem:
calcula1,bal1(1)-bal1(2)-bal1(3):
TAL,norm(11.4,cv1*11.4):
carga_reposta_origem,1011:
nivel_reposicao_armazem_destino,100:
tfem(5),tfem_bb,tfem_br,tfem_ib,tfem_pr,tfem_na:
libera_jusante(5),8006,8007,8008,8009,8010:
libera_desmembra,1014:
fim_carga_comboio,1004:
carga_carregando_trem,NR(terminal_origem_ferro)*nivel_trem:

jusante(5),jusante_barra_bonita,jusante_bariri,jusante_ibitinga,jusante_promissao,jusante_nova_avanhandava:
calcula,bal(1)-bal(2)-bal(3)-bal(4):
cap_trem,num_vagoes*cap_vagao:

saida_montante(5),saida_montante_barra_bonita,saida_montante_bariri,saida_montante_ibitinga,
saida_montante_promissao,saida_montante_nova_avanhandava:
chegou_comboio_origem,1007:
carga_descarregando,NR(terminal_destino_hidro)*nivel_comboio_destino:
eclusagem_mj(2),TAL+TAC+TE+TS+nivel_agua(eclusa)*TV,norm(120,cv1*120):
nivel_reposicao_armazem_origem,100:
fim_descarga_comboio,1005:
chegou_trem,1010:
total_transp_hidro_temp,total_transp_hidro+(cap_comboio-
NR(terminal_destino_hidro)*nivel_comboio_destino):
TS,norm(5.4,cv1*5.4):

saida_jusante(5),saida_jusante_barra_bonita,saida_jusante_bariri,saida_jusante_ibitinga,
saida_jusante_promissao,
saida_jusante_nova_avanhandava:
temj(5),temj_bb,temj_br,temj_ib,temj_pr,temj_na:

fila_jusante(5),fej_barra_bonita,fej_bariri,fej_ibitinga,fej_promissao,fej_nova_avanhandava;

LEVELS:
1,nivel_armazem_origem,8000:
2,nivel_armazem_destino,5000:
3,nivel_caminhao,0:
4,nivel_comboio_origem,0:
5,nivel_comboio_destino,0:
6,nivel_trem,0;

RATES:
1,fluxo_armazem_origem,0:
2,fluxo_armazem_destino,0:
3,fluxo_caminhao,0:
4,fluxo_comboio_origem,0:
5,fluxo_comboio_destino,0:
6,fluxo_trem,0;

SETS:
station_fila_montante,fila_m_barra_bonita,fila_m_bariri,fila_m_ibitinga,fila_m_promissao,
fila_m_nova_avanhandava:

station_eclusa_jusante,eclusa_j_barra_bonita,eclusa_j_bariri,eclusa_j_ibitinga,eclusa_j_promissao,
eclusa_j_nova_avanhandava:
xtemj,temj_bb,temj_br,temj_ib,temj_pr,temj_na:

station_eclusa_montante,eclusa_m_barra_bonita,eclusa_m_bariri,eclusa_m_ibitinga,eclusa_m_promissao,
eclusa_m_nova_avanhandava:

station_montante,montante_barra_bonita,montante_bariri,montante_ibitinga,montante_promissao,
montante_nova_avanhandava:

```


eclusas_tiete,eclusa_barra_bonita,eclusa_bariri,eclusa_ibitinga,eclusa_promissao,eclusa_nova_avanhandava:

station_jusante,jusante_barra_bonita,jusante_bariri,jusante_ibitinga,jusante_promissao,jusante_nova_avanhandava:

xtejm,tejm_bb,tejm_br,tejm_ib,tejm_pr,tejm_na:

station_fila_jusante,fila_j_barra_bonita,fila_j_bariri,fila_j_ibitinga,fila_j_promissao,fila_j_nova_avanhandava:

station_saida_montante,saida_montante_barra_bonita,saida_montante_bariri,saida_montante_ibitinga,

saida_montante_promissao,saida_montante_nova_avanhandava:

fila_eclusa_jusante,fej_barra_bonita,fej_bariri,fej_ibitinga,fej_promissao,fej_nova_avanhandava:

xtfej,tfej_bb,tfej_br,tfej_ib,tfej_pr,tfej_na:

station_saida_jusante,saida_jusante_barra_bonita,saida_jusante_bariri,saida_jusante_ibitinga,

saida_jusante_promissao,saida_jusante_nova_avanhandava:

xtfem,tfem_bb,tfem_br,tfem_ib,tfem_pr,tfem_na:

fila_eclusa_montante,fem_barra_bonita,fem_bariri,fem_ibitinga,fem_promissao,fem_nova_avanhandava;

Anexo VI - Listagem do Modelo em SIMAN

```

;
;
;   Model statements for module:  Station 1
;
7$          STATION,          station_eclusa_montante;
309$        ASSIGN:          SetIndex=MEMIDX(station_eclusa_montante,M);
310$        TRACE,           -1,"-Arrived to station
station_eclusa_montante\n":NEXT(73$);

;
;
;   Model statements for module:  Choose 4
;
73$          TRACE,           -1,"-Choosing from 2 options\n";
312$        BRANCH,          1:
                        If,frota_propria==0,80$,Yes:
                        Else,3$,Yes;

;
;
;   Model statements for module:  Tally 2
;
80$          TRACE,           -1,"-Updating Tally tfem(eclusa) \n";
313$        TALLY:          tfem(eclusa),Interval(chegada_eclusa),1:NEXT(5$);

;
;
;   Model statements for module:  Assign 4
;
5$           TRACE,           -1,"-Making assignments\n";
315$        ASSIGN:          inicio_eclusagem=tnow:NEXT(3$);

;
;
;   Model statements for module:  Seize 1
;
3$           TRACE,           -1,"-Waiting for resources\n";
316$        SEIZE,:          eclusas(eclusa),1;
321$        ASSIGN:          j=j;
318$        DELAY:           0.000:NEXT(21$);

;
;
;   Model statements for module:  Delay 1
;
21$          TRACE,           -1,"-Delaying for time eclusagem_mj(simples)\n";
322$        DELAY:          eclusagem_mj(simples):NEXT(1$);

;
;
;   Model statements for module:  Assign 5
;
1$           TRACE,           -1,"-Making assignments\n";
323$        ASSIGN:          nivel_agua(eclusa)=1:NEXT(0$);

;
;
;   Model statements for module:  Release 1
;
0$           TRACE,           -1,"-Releasing resources\n";
324$        RELEASE:         eclusas(eclusa),1:NEXT(75$);

;

```

```

;
; Model statements for module: Choose 3
;
75$      TRACE,      -1,"-Choosing from 2 options\n";
325$     BRANCH,      1:
                        If, frota_propria==0, 82$, Yes:
                        Else, 13$, Yes;

;
;
; Model statements for module: Tally 1
;
82$      TRACE,      -1,"-Updating Tally temj(eclusa) \n";
326$     TALLY:      temj(eclusa), Interval(inicio_eclusagem), 1:NEXT(13$);

;
;
; Model statements for module: Choose 2
;
13$      TRACE,      -1,"-Choosing from 3 options\n";
328$     BRANCH,      1:
                        If, NQ(fila_jusante(eclusa))>0, 12$, Yes:
                        If, NQ(fila_montante(eclusa))>0, 14$, Yes:
                        Else, 19$, Yes;

;
;
; Model statements for module: Signal 2
;
12$      TRACE,      -1,"-Sending signal libera_jusante(eclusa)\n";
329$     SIGNAL:      libera_jusante(eclusa), 1:NEXT(232$);

;
;
; Model statements for module: Assign 2
;
232$     TRACE,      -1,"-Making assignments\n";
330$     ASSIGN:      vessels(1+2*eclusa)=vessels(1+2*eclusa)-1:
                        vessels(2+2*eclusa)=vessels(2+2*eclusa)+1:NEXT(297$);

297$     ROUTE:      5, saida_jusante(eclusa);

;
;
; Model statements for module: Signal 1
;
14$      TRACE,      -1,"-Sending signal libera_montante(eclusa)\n";
331$     SIGNAL:      libera_montante(eclusa), 1:NEXT(232$);

;
;
; Model statements for module: Assign 3
;
19$      TRACE,      -1,"-Making assignments\n";
332$     ASSIGN:      eclusa_livre(eclusa)=1:NEXT(232$);

;
;
; Model statements for module: Station 2
;
18$      STATION,      station_eclusa_jusante;
333$     ASSIGN:      SetIndex=MEMIDX(station_eclusa_jusante, M);
334$     TRACE,      -1,"-Arrived to station
station_eclusa_jusante\n":NEXT(74$);

;
;
; Model statements for module: Choose 8
;
74$      TRACE,      -1,"-Choosing from 2 options\n";

```

```

336$      BRANCH,      1:
                        If,frota_propria==0,81$,Yes:
                        Else,11$,Yes;

;
;
;      Model statements for module:  Tally 4
;
81$      TRACE,      -1,"-Updating Tally tfej(eclusa) \n";
337$      TALLY:      tfej(eclusa),Interval(chegada_eclusa),1:NEXT(9$);

;
;
;      Model statements for module:  Assign 9
;
9$      TRACE,      -1,"-Making assignments\n";
339$      ASSIGN:      inicio_eclusagem=tnow:NEXT(11$);

;
;
;      Model statements for module:  Seize 2
;
11$      TRACE,      -1,"-Waiting for resources\n";
340$      SEIZE,:      eclusas(eclusa),1;
345$      ASSIGN:      j=j;
342$      DELAY:      0.000:NEXT(52$);

;
;
;      Model statements for module:  Delay 2
;
52$      TRACE,      -1,"-Delaying for time eclusagem_jm(simples)\n";
346$      DELAY:      eclusagem_jm(simples):NEXT(6$);

;
;
;      Model statements for module:  Assign 10
;
6$      TRACE,      -1,"-Making assignments\n";
347$      ASSIGN:      nivel_agua(eclusa)=0:NEXT(8$);

;
;
;      Model statements for module:  Release 2
;
8$      TRACE,      -1,"-Releasing resources\n";
348$      RELEASE:      eclusas(eclusa),1:NEXT(76$);

;
;
;      Model statements for module:  Choose 7
;
76$      TRACE,      -1,"-Choosing from 2 options\n";
349$      BRANCH,      1:
                        If,frota_propria==0,83$,Yes:
                        Else,15$,Yes;

;
;
;      Model statements for module:  Tally 3
;
83$      TRACE,      -1,"-Updating Tally tejm(eclusa) \n";
350$      TALLY:      tejm(eclusa),Interval(inicio_eclusagem),1:NEXT(15$);

;
;
;      Model statements for module:  Choose 6
;
15$      TRACE,      -1,"-Choosing from 3 options\n";
352$      BRANCH,      1:

```

```

If,NQ(fila_montante(eclusa))>0,17$,Yes:
If,NQ(fila_jusante(eclusa))>0,16$,Yes:
Else,20$,Yes;

;
;
;   Model statements for module:  Signal 4
;
17$      TRACE,      -1,"-Sending signal libera_montante(eclusa)\n";
353$     SIGNAL:     libera_montante(eclusa),1:NEXT(101$);

;
;
;   Model statements for module:  Assign 7
;
101$     TRACE,      -1,"-Making assignments\n";
354$     ASSIGN:     vessels(1+2*eclusa)=vessels(1+2*eclusa)-1:
                      vessels(2*eclusa)=vessels(2*eclusa)+1:NEXT(298$);

298$     ROUTE:      5,saida_montante(eclusa);

;
;
;   Model statements for module:  Signal 3
;
16$      TRACE,      -1,"-Sending signal libera_jusante(eclusa)\n";
355$     SIGNAL:     libera_jusante(eclusa),1:NEXT(101$);

;
;
;   Model statements for module:  Assign 8
;
20$      TRACE,      -1,"-Making assignments\n";
356$     ASSIGN:     eclusa_livre(eclusa)=1:NEXT(101$);

;
;
;   Model statements for module:  Station 3
;
22$      STATION,     station_fila_jusante;
357$     ASSIGN:     SetIndex=MEMIDX(station_fila_jusante,M);
358$     TRACE,      -1,"-Arrived to station station_fila_jusante\n":NEXT(28$);

;
;
;   Model statements for module:  Wait 1
;
28$      QUEUE,       fila_jusante(eclusa);
360$     WAIT:        libera_jusante(eclusa),1;
362$     DELAY:       0.000:NEXT(23$);

23$      ROUTE:       5,eclusa_jusante(eclusa);

;
;
;   Model statements for module:  Station 4
;
24$      STATION,     station_fila_montante;
363$     ASSIGN:     SetIndex=MEMIDX(station_fila_montante,M);
364$     TRACE,      -1,"-Arrived to station
station_fila_montante\n":NEXT(26$);

;
;
;   Model statements for module:  Wait 2
;
26$      QUEUE,       fila_montante(eclusa);
366$     WAIT:        libera_montante(eclusa),1;

```

```

368$      DELAY:      0.000:NEXT(25$);
25$      ROUTE:      5,eclusa_montante(eclusa);

;
;
;      Model statements for module:  Station 5
;

31$      STATION,      station_montante;
369$      ASSIGN:      SetIndex=MEMIDX(station_montante,M);
370$      TRACE,      -1,"-Arrived to station station_montante\n":NEXT(30$);

;
;
;      Model statements for module:  Assign 12
;

30$      TRACE,      -1,"-Making assignments\n":;
372$      ASSIGN:      chegada_eclusa=tnow:
                      vessels(2*eclusa)=vessels(2*eclusa)-1*conta:
                      vessels(1+2*eclusa)=vessels(1+2*eclusa)+1:
                      conta=1:NEXT(36$);

;
;
;      Model statements for module:  Choose 9
;

36$      TRACE,      -1,"-Choosing from 2 options\n":;
373$      BRANCH,      1:
                      If,eclusa_livre(eclusa)==1,40$,Yes:
                      Else,33$,Yes;

;
;
;      Model statements for module:  Assign 11
;

40$      TRACE,      -1,"-Making assignments\n":;
374$      ASSIGN:      eclusa_livre(eclusa)=0:NEXT(35$);

35$      ROUTE:      1,eclusa_montante(eclusa);

33$      ROUTE:      1,fila_m(eclusa);

;
;
;      Model statements for module:  Station 6
;

32$      STATION,      station_jusante;
375$      ASSIGN:      SetIndex=MEMIDX(station_jusante,M);
376$      TRACE,      -1,"-Arrived to station station_jusante\n":NEXT(38$);

;
;
;      Model statements for module:  Assign 14
;

38$      TRACE,      -1,"-Making assignments\n":;
378$      ASSIGN:      chegada_eclusa=tnow:
                      vessels(2+2*eclusa)=vessels(2+2*eclusa)-1*conta:
                      vessels(1+2*eclusa)=vessels(1+2*eclusa)+1:
                      conta=1:NEXT(37$);

;
;
;      Model statements for module:  Choose 10
;

37$      TRACE,      -1,"-Choosing from 2 options\n":;
379$      BRANCH,      1:
                      If,eclusa_livre(eclusa)==1,41$,Yes:
                      Else,34$,Yes;

```

```

;
;
;   Model statements for module:  Assign 13
;
41$      TRACE,          -1,"-Making assignments\n";
380$     ASSIGN:         eclusa_livre(eclusa)=0:NEXT(39$);

39$      ROUTE:          1,eclusa_jusante(eclusa);

34$      ROUTE:          1,fila_j(eclusa);

;
;
;   Model statements for module:  Station 7
;
43$      STATION,        station_origem_hidro;
382$     TRACE,          -1,"-Arrived to station station_origem_hidro\n":NEXT(98$);

;
;
;   Model statements for module:  Assign 29
;
98$      TRACE,          -1,"-Making assignments\n";
384$     ASSIGN:         vessels(16)=vessels(16)-1*conta:
                        vessels(17)=vessels(17)+1:
                        conta=1:NEXT(53$);

;
;
;   Model statements for module:  Choose 15
;
53$      TRACE,          -1,"-Choosing from 2 options\n";
385$     BRANCH,         1:
                        If,frota_propria==0,291$,Yes:
                        Else,288$,Yes;
191$     ROUTE:          25,station_entrada_terminal_simao;
288$     ROUTE:          15,station_terminal_terceiros_simao;

;
;
;   Model statements for module:  Station 8
;
44$      STATION,        station_destino_hidro;
387$     TRACE,          -1,"-Arrived to station
station_destino_hidro\n":NEXT(228$);

;
;
;   Model statements for module:  Assign 31
;
228$     TRACE,          -1,"-Making assignments\n";
389$     ASSIGN:         vessels(2)=vessels(2)-1*conta:
                        vessels(1)=vessels(1)+1:
                        conta=1:NEXT(71$);

;
;
;   Model statements for module:  Delay 7
;
71$      TRACE,          -1,"-Delaying for time norm(2880,cv1+2880)\n";
390$     DELAY:          norm(2880,cv1+2880):NEXT(65$);

;
;
;   Model statements for module:  Assign 30
;
65$      TRACE,          -1,"-Making assignments\n";

```

```

391$      ASSIGN:      ecusa=1:
                        vessels(1)=vessels(1)-1:
                        vessels(2)=vessels(2)+1:
                        Picture=comboio_vazio_outros:NEXT(66$);

66$      ROUTE:      tempo_hidro(1),montante(1);

;
;
;      Model statements for module:  Create 3
;

392$      CREATE,      1,172800:,1;
399$      TRACE,      -1,"-Entity Created\n";
398$      ASSIGN:      Picture=0:NEXT(85$);

;
;
;      Model statements for module:  Write 1
;
85$      TRACE,      -1,"-Writing to File saida\n";
400$      WRITE,      saida:
                        TAVG(tvr_hidro),
                        TAVG(tfem(1)),
                        TAVG(tfem(2)),
                        TAVG(tfem(3)),
                        TAVG(tfem(4)),
                        TAVG(tfem(5)),
                        TAVG(tfej(1)),
                        TAVG(tfej(2)),
                        TAVG(tfej(3)),
                        TAVG(tfej(4)),
                        TAVG(tfej(5)),
                        TAVG(temj(1)),
                        TAVG(temj(2)),
                        TAVG(temj(3)),
                        TAVG(temj(4)),
                        TAVG(temj(5)),
                        TAVG(tejm(1)),
                        TAVG(tejm(2)),
                        TAVG(tejm(3)),
                        TAVG(tejm(4)),
                        TAVG(tejm(5)),
                        TAVG(tto_hidro),
                        TAVG(ttd_hidro),
                        TAVG(tfo_hidro),
                        TAVG(tfd_hidro),
                        TAVG(tto_emp),
                        TAVG(tacc_hidro),
                        TAVG(tccc_hidro),
                        TAVG(tfcc_hidro),
                        TAVG(tocc_hidro),
                        TAVG(tfd_rodol),
                        TAVG(ttd_rodol),
                        TAVG(tfo_ferro),
                        TAVG(tto_ferro),
                        TAVG(estoque_medio_origem),
                        TAVG(estoque_medio_destino),
                        NC(num_viagens_rodol),
                        NC(num_viagens_ferro),
                        num_viagens_hidro,
                        total_transp_rodol,
                        total_transp_ferro,
                        NC(total_transp_hidro),
                        nivel_armazem_origem,
                        nivel_armazem_destino,
                        carga_carregando,
                        carga_transito,
                        carga_descarregando,
                        carga_carregando_trem:NEXT(47$);

;
;
;      Model statements for module:  Dispose 1

```



```

/
473      TRACE,          -1,"-Disposing entity\n";
401$     DISPOSE;

/
/
/      Model statements for module:  Create 4
/

402$     CREATE,          1,1:1,1;
409$     TRACE,          -1,"-Entity Created\n";
408$     ASSIGN:         Picture=0:NEXT(308$);

/
/
/      Model statements for module:  Read 2
/
308$     TRACE,          -1,"-Reading from dados \n";
410$     READ,           dados:
                        cap_cam,
                        cap_comboio,
                        cap_vagao,
                        conjuntos_extra_simaio,
                        cvl,
                        desmembra,
                        interv_cam,
                        interv_trem,
                        nivel_max_armazem_destino,
                        nivel_max_armazem_origem,
                        num_comboios,
                        num_vagoes,
                        outras_emp,
                        simples,
                        taxa_carreg_armazem_destino,
                        taxa_carreg_comboio,
                        taxa_carreg_trem,
                        taxa_desc_caminhao,
                        tempo(1),
                        tempo(2),
                        tempo(3),
                        tempo(4),
                        tempo(5),
                        tempo(6),
                        tempo(7),
                        tempo(8),
                        tempo(9),
                        tempo(10),
                        tempo_carrega_retorno,
                        tempo_descarrega_retorno,
                        tempo_desmembra:NEXT(240$);

/
/
/      Model statements for module:  Assign 37
/
340$     TRACE,          -1,"-Making assignments\n";
411$     ASSIGN:         taxa_desc_armazem_origem=-1*taxa_carreg_comboio:
                        taxa_desc_comboio=-1*taxa_carreg_armazem_destino:
                        taxa_carreg_armazem_origem=-1*taxa_desc_caminhao:
                        taxa_desc_armazem_destino=-1*taxa_carreg_trem:NEXT(69$);

/
/
/      Model statements for module:  Dispose 2
/
69$      TRACE,          -1,"-Disposing entity\n";
412$     DISPOSE;

/
/
/      Model statements for module:  Create 2
/

```

```

413$      CREATE,      1,5:,1;
420$      TRACE,      -1,"-Entity Created\n";
414$      ASSIGN:      aux=0;
417$      ASSIGN:      Picture=Default:NEXT(72$);

;
;
;      Model statements for module: Duplicate 2
;
72$      TRACE,      -1,"-Duplicating entities\n";
421$      DUPLICATE:   num_comboios-1,42$:NEXT(42$);

;
;
;      Model statements for module: Assign 21
;
42$      TRACE,      -1,"-Making assignments\n";
422$      ASSIGN:      conta=0:
                        frota_propria=0:
                        prioridade_eclusagem=2:
                        carga_retorno=0:
                        primeira_viagem=0:
                        Picture=comboio_vazio:NEXT(244$);

;
;
;      Model statements for module: Chance 4
;
244$      TRACE,      -1,"-Choosing from 3 options\n";
423$      BRANCH,      1:
                        With,.30,245$,Yes:
                        With,.30,246$,Yes:
                        Else,305$,Yes;
245$      ROUTE:      2,station_origem_hidro;
246$      ROUTE:      2,station_pederneiras;

;
;
;      Model statements for module: Assign 80
;
305$      TRACE,      -1,"-Making assignments\n";
424$      ASSIGN:      eclusa=DISC(0.25,2,0.50,3,0.75,4,1,5):NEXT(93$);
93$      ROUTE:      0,montante(eclusa);

;
;
;      Model statements for module: Station 10
;
102$      STATION,      station_entrada_pb0;
426$      TRACE,      -1,"-Arrived to station station_entrada_pb0\n":NEXT(121$);

;
;
;      Model statements for module: Assign 38
;
121$      TRACE,      -1,"-Making assignments\n";
428$      ASSIGN:      vessels(13)=vessels(13)-1:
                        vessels(12)=vessels(12)+1:NEXT(116$);
116$      ROUTE:      norm(tempo(6),cv1*tempo(6)),jusante_nova_avanhandava;

;
;
;      Model statements for module: Station 12
;

```

```

104$      STATION,      station_entrada_pbl;
430$      TRACE,        -1,"-Arrived to station station_entrada_pbl\n":NEXT(125$);

;
;
;      Model statements for module: Assign 40
;
125$      TRACE,        -1,"-Making assignments\n":;
432$      ASSIGN:       vessels(12)=vessels(12)-1;
                        vessels(13)=vessels(13)+1:NEXT(117$);

117$      ROUTE:        norm(tempo(7),cv1*tempo(7)),station_saida_pbl;

;
;
;      Model statements for module: Station 13
;
105$      STATION,      station_saida_pb0;
434$      TRACE,        -1,"-Arrived to station station_saida_pb0\n":NEXT(120$);

;
;
;      Model statements for module: Assign 41
;
120$      TRACE,        -1,"-Making assignments\n":;
436$      ASSIGN:       vessels(14)=vessels(14)-1;
                        vessels(13)=vessels(13)+1:NEXT(112$);

112$      ROUTE:        norm(tempo(7),cv1*tempo(7)),station_entrada_pb0;

;
;
;      Model statements for module: Station 14
;
106$      STATION,      station_saida_pbl;
438$      TRACE,        -1,"-Arrived to station station_saida_pbl\n":NEXT(124$);

;
;
;      Model statements for module: Assign 42
;
124$      TRACE,        -1,"-Making assignments\n":;
440$      ASSIGN:       vessels(13)=vessels(13)-1;
                        vessels(14)=vessels(14)+1:NEXT(115$);

115$      ROUTE:        norm(tempo(8),cv1*tempo(8)),station_foz_sjd1;

;
;
;      Model statements for module: Station 11
;
107$      STATION,      station_foz_paranaiba0;
442$      TRACE,        -1,"-Arrived to station
station_foz_paranaiba0\n":NEXT(118$);

;
;
;      Model statements for module: Assign 39
;
118$      TRACE,        -1,"-Making assignments\n":;
444$      ASSIGN:       vessels(16)=vessels(16)-1;
                        vessels(15)=vessels(15)+1:NEXT(103$);

103$      ROUTE:        norm(tempo(9),cv1*tempo(9)),station_foz_sjd0;

;

```

```

;
;   Model statements for module:  Station 15
;

108$      STATION,      station_foz_paranaibal;
446$      TRACE,        -1,"-Arrived to station
station_foz_paranaibal\n":NEXT(122$);

;
;
;   Model statements for module:  Assign 43
;

122$      TRACE,        -1,"-Making assignments\n";
448$      ASSIGN:       vessels(15)=vessels(15)-1:
                        vessels(16)=vessels(16)+1:NEXT(114$);

114$      ROUTE:        norm(tempo(10),cv1*tempo(10)),station_origem_hidro;

;
;
;   Model statements for module:  Station 16
;

109$      STATION,      station_foz_sjd0;
450$      TRACE,        -1,"-Arrived to station station_foz_sjd0\n":NEXT(119$);

;
;
;   Model statements for module:  Assign 44
;

119$      TRACE,        -1,"-Making assignments\n";
452$      ASSIGN:       vessels(15)=vessels(15)-1:
                        vessels(14)=vessels(14)+1:NEXT(111$);

111$      ROUTE:        norm(tempo(8),cv1*tempo(8)),station_saida_pb0;

;
;
;   Model statements for module:  Station 17
;

110$      STATION,      station_foz_sjdl;
454$      TRACE,        -1,"-Arrived to station station_foz_sjdl\n":NEXT(123$);

;
;
;   Model statements for module:  Assign 45
;

123$      TRACE,        -1,"-Making assignments\n";
456$      ASSIGN:       vessels(14)=vessels(14)-1:
                        vessels(15)=vessels(15)+1:NEXT(113$);

113$      ROUTE:        norm(tempo(9),cv1*tempo(9)),station_foz_paranaibal;

;
;
;   Model statements for module:  Station 18
;

126$      STATION,      station_destino_rod0;
458$      TRACE,        -1,"-Arrived to station
station_destino_rod0\n":NEXT(127$);

;
;
;   Model statements for module:  Assign 48
;

127$      TRACE,        -1,"-Making assignments\n";
460$      ASSIGN:       chegada_rod0=tnow:NEXT(128$);

```

```

;
;
;   Model statements for module:  Seize 5
;
128$      QUEUE,          fila_destino_rodos:MARK(QueueTime);
461$      SEIZE,:         terminal_destino_rodos,1;
466$      ASSIGN:         j=j;
462$      TALLY:          fila_destino_rodos Queue Time,INT(QueueTime),1:NEXT(306$);

;
;
;   Model statements for module:  Delay 11
;
306$      TRACE,          -1,"-Delaying for time 1\n";
467$      DELAY:          1:NEXT(131$);

;
;
;   Model statements for module:  Tally 13
;
131$      TRACE,          -1,"-Updating Tally tfd_rodos \n";
468$      TALLY:          tfd_rodos,Interval(chegada_rodos),1:NEXT(130$);

;
;
;   Model statements for module:  Assign 47
;
130$      TRACE,          -1,"-Making assignments\n";
470$      ASSIGN:         inicio_descarga=tnow:NEXT(195$);

;
;
;   Model statements for module:  Choose 18
;
195$      TRACE,          -1,"-Choosing from 2 options\n";
471$      BRANCH,         1:
                        If,nivel_armazem_origem==nivel_max_armazem_origem,206$,Yes;
                        Else,136$,Yes;

;
;
;   Model statements for module:  Wait 8
;
206$      TRACE,          -1,"-Waiting for signal chegou_comboio_origem\n";
472$      WAIT:           chegou_comboio_origem,1;
474$      DELAY:          0.000:NEXT(136$);

;
;
;   Model statements for module:  Assign 46
;
136$      TRACE,          -1,"-Making assignments\n";
475$      ASSIGN:         nivel_caminhao=cap_cam:
taxa_armazem_origem=taxa_armazem_origem+taxa_carreg_armazem_origem:
fluxo_caminhao=taxa_desc_caminhao:
fluxo_armazem_origem=taxa_armazem_origem:NEXT(138$);

;
;
;   Model statements for module:  Wait 7
;
138$      TRACE,          -1,"-Waiting for signal fim_descarga_caminhao\n";
476$      WAIT:           fim_descarga_caminhao,1;
478$      DELAY:          0.000:NEXT(132$);

;
;
;   Model statements for module:  Tally 12

```

```

;
132$      TRACE,      -1,"-Updating Tally ttd_odo \n";
479$      TALLY:      ttd_odo,Interval(inicio_descarga),1:NEXT(307$);

;
;
;      Model statements for module: Assign 81
;
307$      TRACE,      -1,"-Making assignments\n";
481$      ASSIGN:      total_transp_odo=total_transp_odo+cap_cam:NEXT(133$);

;
;
;      Model statements for module: Release 5
;
133$      TRACE,      -1,"-Releasing resources\n";
482$      RELEASE:     terminal_destino_odo,1:NEXT(134$);

;
;
;      Model statements for module: Count 5
;
134$      TRACE,      -1,"-Updating counter num_viagens_odo \n";
483$      COUNT:      num_viagens_odo,1:NEXT(194$);

194$      ROUTE:      10,station_saida_odo;

139$      DETECT:      nivel_caminhao,Negative,0.12,0.1:NEXT(142$);

;
;
;      Model statements for module: Assign 49
;
142$      TRACE,      -1,"-Making assignments\n";
485$      ASSIGN:      taxa_armazem_origem=taxa_armazem_origem-
taxa_carreg_armazem_origem:
fluxo_caminhao=0:
fluxo_armazem_origem=taxa_armazem_origem:NEXT(140$);

;
;
;      Model statements for module: Signal 7
;
140$      TRACE,      -1,"-Sending signal fim_descarga_caminhao\n";
486$      SIGNAL:      fim_descarga_caminhao,1:NEXT(141$);

;
;
;      Model statements for module: Dispose 4
;
141$      TRACE,      -1,"-Disposing entity\n";
487$      DISPOSE;

146$      DETECT:      nivel_armazem_origem,Negative,0.329,0.25:NEXT(144$);

;
;
;      Model statements for module: Assign 50
;
144$      TRACE,      -1,"-Making assignments\n";
488$      ASSIGN:      taxa_armazem_origem=taxa_armazem_origem-
taxa_desc_armazem_origem:
fluxo_armazem_origem=taxa_armazem_origem:
fluxo_comboio_origem=0:NEXT(148$);

;
;

```

```

;      Model statements for module:  Wait 9
;
148$      TRACE,          -1,"-Waiting for signal carga_reposta_origem\n";
489$      WAIT:          carga_reposta_origem,1;
491$      DELAY:          0.000:NEXT(145$);

;
;
;      Model statements for module:  Assign 51
;
145$      TRACE,          -1,"-Making assignments\n";
492$      ASSIGN:
taxa_armazem_origem=taxa_armazem_origem+taxa_desc_armazem_origem;
fluxo_comboio_origem=taxa_carreg_comboio;
fluxo_armazem_origem=taxa_armazem_origem:NEXT(143$);

;
;
;      Model statements for module:  Dispose 5
;
143$      TRACE,          -1,"-Disposing entity\n";
493$      DISPOSE;

152$      DETECT:          nivel_armazem_origem,Positive,nivel_max_armazem_origem-
0.741,0.6:NEXT(151$);

;
;
;      Model statements for module:  Assign 52
;
151$      TRACE,          -1,"-Making assignments\n";
494$      ASSIGN:          taxa_armazem_origem=taxa_armazem_origem-
taxa_carreg_armazem_origem;
fluxo_armazem_origem=taxa_armazem_origem;
fluxo_caminhao=0:NEXT(154$);

;
;
;      Model statements for module:  Wait 10
;
154$      TRACE,          -1,"-Waiting for signal chegou_comboio_origem\n";
495$      WAIT:          chegou_comboio_origem,1;
497$      DELAY:          0.000:NEXT(149$);

;
;
;      Model statements for module:  Assign 53
;
149$      TRACE,          -1,"-Making assignments\n";
498$      ASSIGN:
taxa_armazem_origem=taxa_armazem_origem+taxa_carreg_armazem_origem;
fluxo_caminhao=taxa_desc_caminhao;
fluxo_armazem_origem=taxa_armazem_origem:NEXT(150$);

;
;
;      Model statements for module:  Dispose 6
;
150$      TRACE,          -1,"-Disposing entity\n";
499$      DISPOSE;

157$      DETECT:          nivel_comboio_origem,Positive,cap_comboio-
0.851,0.8:NEXT(160$);

;
;
;      Model statements for module:  Assign 54
;

```

```

160$      TRACE,      -1,"-Making assignments\n";
500$      ASSIGN:     taxa_armazem_origem=taxa_armazem_origem-
taxa_desc_armazem_origem:
                                fluxo_comboio_origem=0;
                                fluxo_armazem_origem=taxa_armazem_origem:NEXT(158$);

;
;
;      Model statements for module:  Signal 8
;
158$      TRACE,      -1,"-Sending signal fim_carga_comboio\n";
501$      SIGNAL:     fim_carga_comboio,1:NEXT(159$);

;
;
;      Model statements for module:  Dispose 7
;
159$      TRACE,      -1,"-Disposing entity\n";
502$      DISPOSE;

161$      DETECT:     nivel_comboio_destino,Negative,0.497,0.4:NEXT(164$);

;
;
;      Model statements for module:  Assign 55
;
164$      TRACE,      -1,"-Making assignments\n";
503$      ASSIGN:     taxa_armazem_destino=taxa_armazem_destino-
taxa_carreg_armazem_destino:
                                fluxo_comboio_destino=0;
                                fluxo_armazem_destino=taxa_armazem_destino:NEXT(162$);

;
;
;      Model statements for module:  Signal 9
;
162$      TRACE,      -1,"-Sending signal fim_descarga_comboio\n";
504$      SIGNAL:     fim_descarga_comboio:NEXT(163$);

;
;
;      Model statements for module:  Dispose 8
;
163$      TRACE,      -1,"-Disposing entity\n";
505$      DISPOSE;

171$      DETECT:     nivel_armazem_destino,Positive,nivel_max_armazem_destino-
0.612,0.5:NEXT(170$);

;
;
;      Model statements for module:  Assign 58
;
170$      TRACE,      -1,"-Making assignments\n";
506$      ASSIGN:     taxa_armazem_destino=taxa_armazem_destino-
taxa_carreg_armazem_destino:
                                fluxo_armazem_destino=taxa_armazem_destino:
                                fluxo_comboio_destino=0:NEXT(219$);

;
;
;      Model statements for module:  Wait 12
;
219$      TRACE,      -1,"-Waiting for signal carga_95\n";
507$      WAIT:       carga_95,1;
509$      DELAY:      0.000:NEXT(168$);

```



```

;
;
;   Model statements for module:  Assign 59
;
168$      TRACE,          -1,"-Making assignments\n";
510$      ASSIGN:
taxa_armazem_destino=taxa_armazem_destino+taxa_carreg_armazem_destino:
fluxo_comboio_destino=taxa_desc_comboio:
fluxo_armazem_destino=taxa_armazem_destino:NEXT(169$);

;
;
;   Model statements for module:  Dispose 10
;
169$      TRACE,          -1,"-Disposing entity\n";
511$      DISPOSE;

172$      DETECT:         nivel_trem,Positive,cap_trem-0.851,0.8:NEXT(175$);

;
;
;   Model statements for module:  Assign 60
;
175$      TRACE,          -1,"-Making assignments\n";
512$      ASSIGN:         taxa_armazem_destino=taxa_armazem_destino-
taxa_desc_armazem_destino:
fluxo_trem=0:
fluxo_armazem_destino=taxa_armazem_destino:NEXT(173$);

;
;
;   Model statements for module:  Signal 10
;
173$      TRACE,          -1,"-Sending signal fim_carga_trem\n";
513$      SIGNAL:         fim_carga_trem,1:NEXT(174$);

;
;
;   Model statements for module:  Dispose 11
;
174$      TRACE,          -1,"-Disposing entity\n";
514$      DISPOSE;

;
;
;   Model statements for module:  Station 19
;
191$      STATION,        station_saida_rodovia;
516$      TRACE,          -1,"-Arrived to station station_saida_rodovia\n":NEXT(135$);

;
;
;   Model statements for module:  Dispose 3
;
135$      TRACE,          -1,"-Disposing entity\n";
518$      DISPOSE;

;
;
;   Model statements for module:  Station 21
;
192$      STATION,        station_saida_ferro;
520$      TRACE,          -1,"-Arrived to station station_saida_ferro\n":NEXT(187$);

;
;

```

```

;      Model statements for module:  Dispose 12
;
187$      TRACE,          -1,"-Disposing entity\n";
522$      DISPOSE;

202$      DETECT:
nivel_armazem_origem,Positive,nivel_reposicao_armazem_origem,0.8:NEXT(203$);

;
;
;      Model statements for module:  Signal 11
;
203$      TRACE,          -1,"-Sending signal carga_reposta_origem\n";
523$      SIGNAL:         carga_reposta_origem,1:NEXT(204$);

;
;
;      Model statements for module:  Dispose 13
;
204$      TRACE,          -1,"-Disposing entity\n";
524$      DISPOSE;

207$      DETECT:         nivel_armazem_destino,Negative,0.555,0.5:NEXT(166$);

;
;
;      Model statements for module:  Assign 56
;
166$      TRACE,          -1,"-Making assignments\n";
525$      ASSIGN:         taxa_armazem_destino=taxa_armazem_destino-
taxa_desc_armazem_destino:
                                fluxo_armazem_destino=taxa_armazem_destino:
                                fluxo_trem=0:NEXT(177$);

;
;
;      Model statements for module:  Wait 11
;
177$      TRACE,          -1,"-Waiting for signal carga_reposta_destino\n";
526$      WAIT:           carga_reposta_destino,1;
528$      DELAY:          0.000:NEXT(167$);

;
;
;      Model statements for module:  Assign 57
;
167$      TRACE,          -1,"-Making assignments\n";
529$      ASSIGN:         taxa_armazem_destino=taxa_armazem_destino+taxa_desc_armazem_destino:
                                fluxo_trem=taxa_carreg_trem:
                                fluxo_armazem_destino=taxa_armazem_destino:NEXT(165$);

;
;
;      Model statements for module:  Dispose 9
;
165$      TRACE,          -1,"-Disposing entity\n";
530$      DISPOSE;

212$      DETECT:
nivel_armazem_destino,Positive,nivel_reposicao_armazem_destino,0.8:NEXT(213$);

;
;
;      Model statements for module:  Signal 12
;
213$      TRACE,          -1,"-Sending signal carga_reposta_destino\n";

```

```

531$      SIGNAL:      carga_reposta_destino,1:NEXT(214$);

;
;
;      Model statements for module:  Dispose 14
;
214$      TRACE,      -1,"-Disposing entity\n";
532$      DISPOSE;

215$      DETECT:
nivel_armazem_destino,Negative,0.95*nivel_max_armazem_destino,0.8:NEXT(216$);

;
;
;      Model statements for module:  Signal 13
;
216$      TRACE,      -1,"-Sending signal carga_95\n";
533$      SIGNAL:      carga_95,1:NEXT(217$);

;
;
;      Model statements for module:  Dispose 15
;
217$      TRACE,      -1,"-Disposing entity\n";
534$      DISPOSE;

;
;
;      Model statements for module:  Create 6
;
535$      CREATE,      1,60:60;
542$      TRACE,      -1,"-Entity Created\n";
541$      ASSIGN:      Picture=0:NEXT(224$);

;
;
;      Model statements for module:  Tally 17
;
224$      TRACE,      -1,"-Updating Tally estoque_medio_origem \n";
543$      TALLY:      estoque_medio_origem,nivel_armazem_origem,1:NEXT(225$);

;
;
;      Model statements for module:  Tally 16
;
225$      TRACE,      -1,"-Updating Tally estoque_medio_destino \n";
545$      TALLY:      estoque_medio_destino,nivel_armazem_destino,1:NEXT(226$);

;
;
;      Model statements for module:  Dispose 16
;
226$      TRACE,      -1,"-Disposing entity\n";
547$      DISPOSE;

;
;
;      Model statements for module:  Station 9
;
227$      STATION,      station_pederneiras;
549$      TRACE,      -1,"-Arrived to station station_pederneiras\n":NEXT(241$);

;
;
;      Model statements for module:  Choose 16

```

```

;
241$      TRACE,      -1,"-Choosing from 2 options\n";
551$      BRANCH,      1:
                        If,primeira_viagem==0,242$,Yes:
                        Else,99$,Yes;

;
;
;      Model statements for module: Assign 32
;
242$      TRACE,      -1,"-Making assignments\n";
552$      ASSIGN:      vessels(4)=vessels(4)+1:
                        eclusa=2:
                        conta=1:NEXT(243$);

243$      ROUTE:      tempo_hidro(2)/2,montante(2);

;
;
;      Model statements for module: Assign 33
;
99$       TRACE,      -1,"-Making assignments\n";
553$      ASSIGN:      chegada_hidro=tnow:NEXT(303$);

;
;
;      Model statements for module: Assign 76
;
303$      TRACE,      -1,"-Making assignments\n";
554$      ASSIGN:      carga_transito=carga_transito-cap_comboio:NEXT(58$);

;
;
;      Model statements for module: Seize 4
;
58$       QUEUE,      fila_destino_hidro:MARK(QueueTime);
555$      SEIZE,:      terminal_destino_hidro,1;
560$      ASSIGN:      j=j;
556$      TALLY:      fila_destino_hidro Queue Time,INT(QueueTime),1:NEXT(60$);

;
;
;      Model statements for module: Tally 10
;
60$       TRACE,      -1,"-Updating Tally tfd_hidro \n";
561$      TALLY:      tfd_hidro,Interval(chegada_hidro),1:NEXT(79$);

;
;
;      Model statements for module: Assign 34
;
79$       TRACE,      -1,"-Making assignments\n";
563$      ASSIGN:      inicio_descarga=tnow:NEXT(211$);

;
;
;      Model statements for module: Choose 17
;
211$      TRACE,      -1,"-Choosing from 2 options\n";
564$      BRANCH,      1:
                        If,nivel_armazem_destino>0.95*nivel_max_armazem_destino,221$,Yes:
                        Else,156$,Yes;

;
;
;      Model statements for module: Wait 5
;
221$      TRACE,      -1,"-Waiting for signal carga_95\n";
565$      WAIT:      carga_95;
567$      DELAY:      0.000:NEXT(156$);

```

```

;
;
;   Model statements for module:  Assign 35
;
156$      TRACE,          -1,"-Making assignments\n";
568$      ASSIGN:         nivel_comboio_destino=cap_comboio:

taxa_armazem_destino=taxa_armazem_destino+taxa_carreg_armazem_destino:
fluxo_comboio_destino=taxa_desc_comboio:
fluxo_armazem_destino=taxa_armazem_destino:NEXT(223$);

;
;
;   Model statements for module:  Wait 6
;
223$      TRACE,          -1,"-Waiting for signal fim_descarga_comboio\n";
569$      WAIT:           fim_descarga_comboio,1;
571$      DELAY:          0.000:NEXT(278$);

;
;
;   Model statements for module:  Delay 8
;
278$      TRACE,          -1,"-Delaying for time
carga_retorno*tempo_carrega_retorno\n";
572$      DELAY:          carga_retorno*tempo_carrega_retorno:NEXT(63$);

;
;
;   Model statements for module:  Release 4
;
63$       TRACE,          -1,"-Releasing resources\n";
573$      RELEASE:        terminal_destino_hidro,1:NEXT(64$);

;
;
;   Model statements for module:  Tally 11
;
64$       TRACE,          -1,"-Updating Tally ttd_hidro \n";
574$      TALLY:         ttd_hidro,Interval(inicio_descarga),1:NEXT(45$);

;
;
;   Model statements for module:  Assign 36
;
45$       TRACE,          -1,"-Making assignments\n";
576$      ASSIGN:         num_viagens_hidro=num_viagens_hidro+0.5;
                           eclusa=2;
                           Picture=comboio_vazio:NEXT(285$);

;
;
;   Model statements for module:  Count 2
;
285$      TRACE,          -1,"-Updating counter total_transp_hidro \n";
577$      COUNT:         total_transp_hidro,cap_comboio:NEXT(50$);

50$      ROUTE:          tempo_hidro(2)/2,montante(2);

;
;
;   Model statements for module:  Create 1
;
579$      CREATE,         1,5,1;
586$      TRACE,          -1,"-Entity Created\n";
585$      ASSIGN:         Picture=0:NEXT(235$);

```

```

;
;
; Model statements for module: Duplicate 1
;
235$ TRACE, -1,"-Duplicating entities\n";
587$ DUPLICATE: outras_emb-1,237$:NEXT(237$);

;
;
; Model statements for module: Delay 3
;
237$ TRACE, -1,"-Delaying for time norm(20,5)\n";
588$ DELAY: norm(20,5):NEXT(236$);

;
;
; Model statements for module: Assign 16
;
236$ TRACE, -1,"-Making assignments\n";
589$ ASSIGN: conta=0;
frota_propria=1;
Picture=comboio_vazio_outros:NEXT(86$);

;
;
; Model statements for module: Chance 2
;
86$ TRACE, -1,"-Choosing from 4 options\n";
590$ BRANCH, 1:
With,0.50,87$,Yes:
With,0.25,88$,Yes:
With,0.15,89$,Yes:
Else,90$,Yes;

;
;
; Model statements for module: Assign 17
;
87$ TRACE, -1,"-Making assignments\n";
591$ ASSIGN: prioridade_eclusagem=2:NEXT(95$);

;
;
; Model statements for module: Chance 3
;
95$ TRACE, -1,"-Choosing from 3 options\n";
592$ BRANCH, 1:
With,.10,96$,Yes:
With,.10,97$,Yes:
Else,91$,Yes;
96$ ROUTE: 0,station_origem_hidro;
97$ ROUTE: 0,station_destino_hidro;

;
;
; Model statements for module: Assign 15
;
91$ TRACE, -1,"-Making assignments\n";
593$ ASSIGN: eclusa=DISC(0.2,1,0.4,2,0.6,3,0.8,4,1.0,5):NEXT(92$);

;
;
; Model statements for module: Chance 1
;
92$ TRACE, -1,"-Choosing from 2 options\n";
594$ BRANCH, 1:
With,0.5,93$,Yes:
Else,299$,Yes;

```

```

;
;
;   Model statements for module: Assign 71
;
299$      TRACE,          -1,"-Making assignments\n";
595$      ASSIGN:         Picture=comboio_cheio_outros:NEXT(94$);

94$       ROUTE:          0,jusante(eclusa);

;
;
;   Model statements for module: Assign 18
;
88$       TRACE,          -1,"-Making assignments\n";
596$      ASSIGN:         prioridade_eclusagem=2:NEXT(95$);

;
;
;   Model statements for module: Assign 19
;
89$       TRACE,          -1,"-Making assignments\n";
597$      ASSIGN:         prioridade_eclusagem=2:NEXT(95$);

;
;
;   Model statements for module: Assign 20
;
90$       TRACE,          -1,"-Making assignments\n";
598$      ASSIGN:         prioridade_eclusagem=1:NEXT(95$);

;
;
;   Model statements for module: Create 7
;
599$      CREATE,         3,10:POIS( interv_cam);
606$      TRACE,          -1,"-Entity Created\n";
603$      ASSIGN:         Picture=caminhao:NEXT(238$);

;
;
;   Model statements for module: Station 22
;
138$      STATION,        station_origem_rodos;
608$      TRACE,          -1,"-Arrived to station station_origem_rodos\n":NEXT(239$);

239$      ROUTE:          60,station_destino_rodos;

;
;
;   Model statements for module: Create 5
;
610$      CREATE,         1,1:1,1;
617$      TRACE,          -1,"-Entity Created\n";
614$      ASSIGN:         Picture=trem:NEXT(247$);

;
;
;   Model statements for module: Delay 9
;
247$      TRACE,          -1,"-Delaying for time interv_trem\n";
618$      DELAY:          interv_trem:NEXT(178$);

;
;
;   Model statements for module: Station 20
;

```

```

178$          STATION,          station_origem_ferro;
620$          TRACE,            -1,"-Arrived to station
station_origem_ferro\n":NEXT(179$);

;
;
;   Model statements for module: Assign 63
;
179$          TRACE,            -1,"-Making assignments\n";
622$          ASSIGN:           chegada_ferro=tnow:NEXT(180$);

;
;
;   Model statements for module: Seize 6
;
180$          QUEUE,            fila_origem_ferro:MARK(QueueTime);
623$          SEIZE,            terminal_origem_ferro,1;
628$          ASSIGN:           j=j;
624$          TALLY:            fila_origem_ferro Queue Time,INT(QueueTime),1:NEXT(183$);

;
;
;   Model statements for module: Tally 15
;
183$          TRACE,            -1,"-Updating Tally tfo_ferro \n";
629$          TALLY:            tfo_ferro,Interval(chegada_ferro),1:NEXT(182$);

;
;
;   Model statements for module: Assign 62
;
182$          TRACE,            -1,"-Making assignments\n";
631$          ASSIGN:           inicio_carga=tnow:NEXT(208$);

;
;
;   Model statements for module: Choose 19
;
208$          TRACE,            -1,"-Choosing from 2 options\n";
632$          BRANCH,           1:

If,nivel_armazem_destino<nivel_reposicao_armazem_destino,210$,Yes:
Else,188$,Yes;

;
;
;   Model statements for module: Wait 14
;
210$          TRACE,            -1,"-Waiting for signal carga_reposta_destino\n";
633$          WAIT:             carga_reposta_destino,1;
635$          DELAY:            0.000:NEXT(188$);

;
;
;   Model statements for module: Assign 61
;
188$          TRACE,            -1,"-Making assignments\n";
636$          ASSIGN:           nivel_trem=0:

taxa_armazem_destino=taxa_armazem_destino+taxa_desc_armazem_destino:
fluxo_trem=taxa_carreg_trem:
fluxo_armazem_destino=taxa_armazem_destino:NEXT(190$);

;
;
;   Model statements for module: Wait 13
;
190$          TRACE,            -1,"-Waiting for signal fim_carga_trem\n";
637$          WAIT:             fim_carga_trem,1;

```



```

639$      DELAY:          0.000:NEXT(184$);
;
;
;      Model statements for module:  Tally 14
;
184$      TRACE,          -1,"-Updating Tally tto_ferro \n";
640$      TALLY:          tto_ferro,Interval(inicio_carga),1:NEXT(304$);
;
;
;      Model statements for module:  Assign 78
;
304$      TRACE,          -1,"-Making assignments\n";
642$      ASSIGN:         total_transp_ferro=total_transp_ferro+nivel_trem:
                           nivel_trem=0:NEXT(185$);
;
;
;      Model statements for module:  Release 6
;
185$      TRACE,          -1,"-Releasing resources\n";
643$      RELEASE:        terminal_origem_ferro,1:NEXT(186$);
;
;
;      Model statements for module:  Count 7
;
186$      TRACE,          -1,"-Updating counter num_viagens_ferro \n";
644$      COUNT:          num_viagens_ferro,1:NEXT(294$);
;
;
;      Model statements for module:  Duplicate 6
;
294$      TRACE,          -1,"-Duplicating entities\n";
646$      DUPLICATE:       1,247$:NEXT(193$);
193$      ROUTE:          2500,station_saida_ferro;
;
;
;      Model statements for module:  Create 8
;
647$      CREATE,          1,5:1,1;
654$      TRACE,          -1,"-Entity Created\n";
651$      ASSIGN:         Picture=Default:NEXT(267$);
;
;
;      Model statements for module:  Choose 21
;
267$      TRACE,          -1,"-Choosing from 2 options\n";
655$      BRANCH,          1:
                           If,desmembra==0,268$,Yes:
                           Else,269$,Yes;
;
;
;      Model statements for module:  Dispose 18
;
268$      TRACE,          -1,"-Disposing entity\n";
656$      DISPOSE;
;
;
;      Model statements for module:  Choose 22
;

```

```

269$      TRACE,      -1,"-Choosing from 2 options\n";
657$      BRANCH,      1:
                        If,conjuntos_extra_simao==1,283$,Yes:
                        Else,262$,Yes;

;
;
;      Model statements for module: Assign 67
;
283$      TRACE,      -1,"-Making assignments\n";
658$      ASSIGN:      chegada_hidro=tnow:
                        Picture=chata_vazia:NEXT(251$);

;
;
;      Model statements for module: Seize 7
;
251$      QUEUE,      fila_origem_chatas:MARK(QueueTime);
659$      SEIZE,:      terminal_origem_hidro,1;
664$      ASSIGN:      j=j;
660$      TALLY:      fila_origem_chatas Queue Time,INT(QueueTime),1:NEXT(284$);

;
;
;      Model statements for module: Tally 20
;
284$      TRACE,      -1,"-Updating Tally tfcc_hidro \n";
665$      TALLY:      tfcc_hidro,Interval(chegada_hidro),1:NEXT(254$);

;
;
;      Model statements for module: Assign 66
;
254$      TRACE,      -1,"-Making assignments\n";
667$      ASSIGN:      alocou_terminal=tnow:NEXT(280$);

;
;
;      Model statements for module: Delay 10
;
280$      TRACE,      -1,"-Delaying for time
carga_retorno*tempo_descarrega_retorno\n";
668$      DELAY:      carga_retorno*tempo_descarrega_retorno:NEXT(257$);

;
;
;      Model statements for module: Signal 14
;
257$      TRACE,      -1,"-Sending signal chegou_comboio_origem\n";
669$      SIGNAL:      chegou_comboio_origem,1:NEXT(256$);

;
;
;      Model statements for module: Choose 20
;
256$      TRACE,      -1,"-Choosing from 2 options\n";
670$      BRANCH,      1:
                        If,nivel_armazem_origem<nivel_reposicao_armazem_origem,259$,Yes:
                        Else,255$,Yes;

;
;
;      Model statements for module: Wait 18
;
259$      TRACE,      -1,"-Waiting for signal carga_reposta_origem\n";
671$      WAIT:      carga_reposta_origem,1;
673$      DELAY:      0.000:NEXT(255$);

;

```

```

;
; Model statements for module: Assign 65
;
255$      TRACE,          -1,"-Making assignments\n";
674$      ASSIGN:         nivel_comboio_origem=0;

taxa_armazem_origem=taxa_armazem_origem+taxa_desc_armazem_origem;
fluxo_comboio_origem=taxa_carreg_comboio;
fluxo_armazem_origem=taxa_armazem_origem:NEXT(261$);

;
;
; Model statements for module: Wait 17
;
261$      TRACE,          -1,"-Waiting for signal fim_carga_comboio\n";
675$      WAIT:           fim_carga_comboio,1;
677$      DELAY:          0.000:NEXT(253$);

;
;
; Model statements for module: Release 7
;
253$      TRACE,          -1,"-Releasing resources\n";
678$      RELEASE:        terminal_origem_hidro,1:NEXT(302$);

;
;
; Model statements for module: Assign 75
;
302$      TRACE,          -1,"-Making assignments\n";
679$      ASSIGN:         carga_transito=carga_transito+cap_comboio:NEXT(281$);

;
;
; Model statements for module: Tally 19
;
281$      TRACE,          -1,"-Updating Tally tccc_hidro \n";
680$      TALLY:          tccc_hidro,Interval(alocou_terminal),1:NEXT(263$);

;
;
; Model statements for module: Assign 64
;
263$      TRACE,          -1,"-Making assignments\n";
682$      ASSIGN:         conjunto_simao=conjunto_simao+1;
                          aguarda_empurrador=tnow;
                          Picture=chata_cheia:NEXT(271$);

;
;
; Model statements for module: Wait 16
;
271$      QUEUE,          fila_chatas_carregadas:MARK(QueueTime);
683$      WAIT:           libera_desmembra,1;
684$      TALLY:          fila_chatas_carregadas Queue
Time,INT(QueueTime),1:NEXT(282$);

;
;
; Model statements for module: Tally 18
;
282$      TRACE,          -1,"-Updating Tally tocc_hidro \n";
686$      TALLY:          tocc_hidro,Interval(aguarda_empurrador),1:NEXT(273$);

;
;
; Model statements for module: Dispose 17
;
273$      TRACE,          -1,"-Disposing entity\n";

```

```

688$      DISPOSE;

;
;
;      Model statements for module: Duplicate 5
;
262$      TRACE,          -1,"-Duplicating entities\n";
689$      DUPLICATE:      conjuntos_extra_simao,283$:NEXT(277$);

;
;
;      Model statements for module: Dispose 19
;
277$      TRACE,          -1,"-Disposing entity\n";
690$      DISPOSE;

;
;
;      Model statements for module: Station 23
;
287$      STATION,        station_terminal_terceiros_simao;
692$      TRACE,          -1,"-Arrived to station
station_terminal_terceiros_simao\n":NEXT(70$);

;
;
;      Model statements for module: Delay 6
;
70$       TRACE,          -1,"-Delaying for time norm(2880,cv1*2880)\n";
694$      DELAY:          norm(2880,cv1*2880):NEXT(67$);

;
;
;      Model statements for module: Assign 28
;
67$       TRACE,          -1,"-Making assignments\n";
695$      ASSIGN:         eclusa=5:
                        vessels(17)=vessels(17)-1:
                        vessels(16)=vessels(16)+1:
                        Picture=comboio_cheio_outros:NEXT(68$);

68$       ROUTE:          norm(tempo(10),cv1*tempo(10)),station_foz_paranaiba0;

;
;
;      Model statements for module: Station 24
;
290$      STATION,        station_entrada_terminal_simao;
697$      TRACE,          -1,"-Arrived to station
station_entrada_terminal_simao\n":NEXT(77$);

;
;
;      Model statements for module: Choose 14
;
77$       TRACE,          -1,"-Choosing from 2 options\n";
699$      BRANCH,         1:
                        If,primeira_viagem==0,54$,Yes:
                        Else,84$,Yes;

;
;
;      Model statements for module: Assign 27
;
54$       TRACE,          -1,"-Making assignments\n";
700$      ASSIGN:         inicio_tvr=tnow:
                        chegada_hidro=tnow:NEXT(248$);

```

```

;
;
;   Model statements for module:  Choose 13
;
248$      TRACE,          -1,"-Choosing from 2 options\n";
701$      BRANCH,         1:
                          If,desmembra==0,55$,Yes:
                          Else,265$,Yes;

;
;
;   Model statements for module:  Seize 3
;
55$       QUEUE,          fila_origem_hidro:MARK(QueueTime);
702$      SEIZE,:         terminal_origem_hidro,1;
707$      ASSIGN:         j=j;
703$      TALLY:          fila_origem_hidro Queue Time,INT(QueueTime),1:NEXT(57$);

;
;
;   Model statements for module:  Tally 8
;
57$       TRACE,          -1,"-Updating Tally tfo_hidro \n";
708$      TALLY:          tfo_hidro,Interval(chegada_hidro),1:NEXT(78$);

;
;
;   Model statements for module:  Assign 26
;
78$       TRACE,          -1,"-Making assignments\n";
710$      ASSIGN:         alocou_terminal=tnow:NEXT(279$);

;
;
;   Model statements for module:  Delay 5
;
279$      TRACE,          -1,"-Delaying for time
carga_retorno*tempo_descarrega_retorno\n";
711$      DELAY:          carga_retorno*tempo_descarrega_retorno:NEXT(197$);

;
;
;   Model statements for module:  Signal 6
;
197$      TRACE,          -1,"-Sending signal chegou_comboio_origem\n";
712$      SIGNAL:         chegou_comboio_origem,1:NEXT(196$);

;
;
;   Model statements for module:  Choose 12
;
196$      TRACE,          -1,"-Choosing from 2 options\n";
713$      BRANCH,         1:
                          If,nivel_armazem_origem<nivel_reposicao_armazem_origem,199$,Yes:
                          Else,155$,Yes;

;
;
;   Model statements for module:  Wait 4
;
199$      TRACE,          -1,"-Waiting for signal carga_reposta_origem\n";
714$      WAIT:           carga_reposta_origem,1;
716$      DELAY:          0.000:NEXT(155$);

;
;
;   Model statements for module:  Assign 25
;
155$      TRACE,          -1,"-Making assignments\n";

```

```

717$      ASSIGN:      nivel_comboio_origem=0:

taxa_armazem_origem=taxa_armazem_origem+taxa_desc_armazem_origem:
fluxo_comboio_origem=taxa_carreg_comboio:
fluxo_armazem_origem=taxa_armazem_origem:NEXT(201$);

;
;
;      Model statements for module:  Wait 3
;
201$      TRACE,      -1,"-Waiting for signal fim_carga_comboio\n";
718$      WAIT:      fim_carga_comboio,1;
720$      DELAY:      0.000:NEXT(62$);

;
;
;      Model statements for module:  Release 3
;
62$      TRACE,      -1,"-Releasing resources\n";
721$      RELEASE:    terminal_origem_hidro,1:NEXT(301$);

;
;
;      Model statements for module:  Assign 74
;
301$      TRACE,      -1,"-Making assignments\n";
722$      ASSIGN:     carga_transito=carga_transito+cap_comboio:NEXT(61$);

;
;
;      Model statements for module:  Tally 7
;
61$      TRACE,      -1,"-Updating Tally tto_hidro \n";
723$      TALLY:      tto_hidro,Interval(alocou_terminal),1:NEXT(46$);

;
;
;      Model statements for module:  Assign 22
;
46$      TRACE,      -1,"-Making assignments\n";
725$      ASSIGN:     primeira_viagem=1:
                        eclusa=5:
                        vessels(17)=vessels(17)-1:
                        vessels(16)=vessels(16)+1:
                        Picture=comboio_cheio:NEXT(293$);
293$      ROUTE:      25,station_saida_terminal_simao;

;
;
;      Model statements for module:  Duplicate 3
;
265$      TRACE,      -1,"-Duplicating entities\n";
726$      DUPLICATE:   1,283$:NEXT(289$);

;
;
;      Model statements for module:  Assign 68
;
289$      TRACE,      -1,"-Making assignments\n";
727$      ASSIGN:     Picture=empurrador:NEXT(249$);

;
;
;      Model statements for module:  Choose 11
;
249$      TRACE,      -1,"-Choosing from 2 options\n";
728$      BRANCH,     1:
                        If,conjunto_simao>=1,264$,Yes:

```

```

Else,286$,Yes;

;
;
;   Model statements for module:  Assign 23
;
264$      TRACE,          -1,"-Making assignments\n";
729$      ASSIGN:         conjunto_simao=conjunto_simao-1:NEXT(274$);

;
;
;   Model statements for module:  Tally 5
;
274$      TRACE,          -1,"-Updating Tally tacc_hidro \n";
730$      TALLY:         tacc_hidro,Interval(chegada_hidro),1:NEXT(275$);

;
;
;   Model statements for module:  Assign 24
;
275$      TRACE,          -1,"-Making assignments\n";
732$      ASSIGN:         inicio_operacao=tnow:NEXT(270$);

;
;
;   Model statements for module:  Signal 5
;
270$      TRACE,          -1,"-Sending signal libera_desmembra\n";
733$      SIGNAL:         libera_desmembra,1:NEXT(250$);

;
;
;   Model statements for module:  Delay 4
;
250$      TRACE,          -1,"-Delaying for time tempo_desmembra*simples\n";
734$      DELAY:         tempo_desmembra*simples:NEXT(276$);

;
;
;   Model statements for module:  Tally 6
;
276$      TRACE,          -1,"-Updating Tally tto_emp \n";
735$      TALLY:         tto_emp,Interval(inicio_operacao),1:NEXT(46$);

286$      QUEUE,          fila_empurradores_aguardando,,266$;
266$      SCAN:         conjunto_simao>=1:NEXT(264$);

;
;
;   Model statements for module:  Tally 9
;
94$       TRACE,          -1,"-Updating Tally tvr_hidro \n";
737$      TALLY:         tvr_hidro,Interval(inicio_tvr),1:NEXT(300$);

;
;
;   Model statements for module:  Assign 73
;
300$      TRACE,          -1,"-Making assignments\n";
739$      ASSIGN:         num_viagens_hidro=num_viagens_hidro+0.5:NEXT(54$);

;
;
;   Model statements for module:  Station 25
;
292$      STATION,        station_saida_terminal_simao;
741$      TRACE,          -1,"-Arrived to station
station_saida_terminal_simao\n":NEXT(51$);

```

```

51$          ROUTE:          norm(tempo(10),cv1*tempo(10)),station_foz_paranaiba0;

;
;
;   Model statements for module:  Station 26
;

295$          STATION,          station_saida_jusante;
743$          ASSIGN:          SetIndex=MEMIDX(station_saida_jusante,M);
744$          TRACE,          -1,"-Arrived to station
station_saida_jusante\n":NEXT(234$);

;
;
;   Model statements for module:  Choose 1
;

234$          TRACE,          -1,"-Choosing from 2 options\n":;
746$          BRANCH,          1:
                                If,eclusa+1<6,100$,Yes:
                                Else,49$,Yes;

;
;
;   Model statements for module:  Assign 1
;

100$          TRACE,          -1,"-Making assignments\n":;
747$          ASSIGN:          eclusa=eclusa+1:NEXT(4$);

4$            ROUTE:          tempo_hidro(eclusa),montante(eclusa);

49$           ROUTE:          norm(tempo(6),cv1*tempo(6)),station_entrada_pbl;

;
;
;   Model statements for module:  Station 27
;

296$          STATION,          station_saida_montante;
748$          ASSIGN:          SetIndex=MEMIDX(station_saida_montante,M);
749$          TRACE,          -1,"-Arrived to station
station_saida_montante\n":NEXT(233$);

;
;
;   Model statements for module:  Choose 5
;

233$          TRACE,          -1,"-Choosing from 3 options\n":;
751$          BRANCH,          1:
                                If,(frota_propria==0).and.(eclusa==2),229$,Yes:
                                If,(eclusa-1)>0,48$,Yes:
                                Else,230$,Yes;

229$          ROUTE:          tempo_hidro(2)/2,station_pederneiras;

;
;
;   Model statements for module:  Assign 6
;

48$           TRACE,          -1,"-Making assignments\n":;
752$          ASSIGN:          eclusa=eclusa-1:NEXT(231$);

231$          ROUTE:          tempo_hidro(eclusa+1),jusante(eclusa);

230$          ROUTE:          tempo_hidro(1),station_destino_hidro;

;
;
;   Model statements for module:  Resource 1
;

```



```
Model statements for module: Resource 2

Model statements for module: Resource 3

Model statements for module: Resource 4

Model statements for module: Resource 5
```

Anexo VII - Listagem dos Resultados

Coluna	Descrição
process.	Número do processamento
cap_vagao	Capacidade do vagão (t)
interv_trem	Intervalo entre chegadas dos trens (min)
nivel_max_armazem_destino	Capacidade do silo em Pederneiras(t)
nivel_max_armazem_origem	Capacidade do silo em São Simão (t)
num_comboios	Número de comboios fluviais
num_vagoes	Número de vagões por composição ferroviária
tvr_hidro	Tempo de viagem redonda dos comboios (min)
tfem	Tempo total em fila à montante das eclusas (min)
tfej	Tempo total em fila à jusante das eclusas (min)
temj	Tempo total de eclusagem montante-jusante (min)
tejm	Tempo total de eclusagem jusante-montante (min)
tto_hidro	Tempo no terminal de São Simão das embarcações (min)
ttd_hidro	Tempo no terminal de Pederneiras das embarcações (min)
tfo_hidro	Tempo em fila no terminal de São Simão das embarcações(min)
tfd_hidro	Tempo em fila no terminal de Pederneiras das embarcações (min)
tfd_rod	Tempo em fila no terminal de São Simão dos caminhões (min)
ttd_rod	Tempo no terminal de São Simão dos caminhões (min)
tfo_ferro	Tempo em fila no terminal de Pederneiras dos trens (min)
tto_ferro	Tempo no terminal de Pederneiras dos trens (min)
%%	Índice de rotatividade das embarcações
estoque_medio_origem	Estoque médio em São Simão (t)
estoque_medio_destino	Estoque médio em Pederneiras (t)
num_viagens_rod	Número de viagens rodoviárias realizadas no período
num_viagens_ferro	Número de viagens ferroviárias realizadas no período
num_viagens_hidro	Número de viagens hidroviárias realizadas no período
total_transp_rod	Total de carga transportada por rodovia (t) no período
total_transp_ferro	Total de carga transportada por ferrovia (t) no período
total_transp_hidro	Total de carga transportada por hidrovia (t) no período
nivel_armazem_origem	Nível do armazém em São Simão no término do processamento (t)
nivel_armazem_destino	Nível do armazém em Pederneiras no término do processamento (t)
carga_carregando_comboio_origem	Carga sendo carregada no comboio em São Simão (t)
carga_transito	Carga em trânsito no final do processamento (t)
carga_descarregando_comboio_destino	Carga sendo descarregada do comboio em Pederneiras (t)
carga_carregando_trem_origem	Carga sendo carregada no trem em Pederneiras (t)
frete_hidro	Total de frete hidroviário no período (R\$)
frete_rod	Total de frete rodoviário no período (R\$)
frete_ferro	Total de frete ferroviário no período (R\$)
arm_fixo_SS	Total de custo de capital pago no armazém de São Simão (R\$)
arm_var_SS	Total de custo operacional pago no armazém de São Simão (R\$)
arm_fixo_PD	Total de custo de capital pago no armazém de Pederneiras (R\$)
arm_var_PD	Total de custo operacional pago no armazém de Pederneiras (R\$)
total	Total de fretes + custo de armazenagem no período (R\$)
frete/t	Frete médio por tonelada (R\$/t)

Observação: Legenda das Tabelas do Anexo VII