



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**



**ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO  
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO**

**LEONARDO SANCHES DE CARVALHO**

**ANÁLISE DAS POTENCIALIDADES E VANTAGENS DO USO DA  
SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL EM OPERAÇÕES  
LOGÍSTICAS COMPLEXAS, COMO FERRAMENTA DE  
AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÕES: ESTUDO DE CASO EM  
UMA ORGANIZAÇÃO INDUSTRIAL.**

**SALVADOR-BA  
2006**

**LEONARDO SANCHES DE CARVALHO**

**ANÁLISE DAS POTENCIALIDADES E VANTAGENS DO USO  
DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL EM OPERAÇÕES  
LOGÍSTICAS COMPLEXAS, COMO FERRAMENTA DE  
AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÕES: ESTUDO DE CASO EM  
UMA ORGANIZAÇÃO INDUSTRIAL.**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Administração da Escola de Administração da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre.

**ORIENTADOR: PROF. DR. ROGÉRIO HERMIDA QUINTELLA**

**SALVADOR-BA  
2006**

Escola de Administração - UFBA

C331 Carvalho, Leonardo Sanches de

Análise das potencialidades e vantagens do uso da simulação computacional em operações logísticas complexas, como ferramenta de auxílio tomada de decisões: estudo de caso em uma organização industrial / Leonardo Sanches de Carvalho. – 2006.

114 f.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Hermida Quintella.

Dissertação (mestrado profissional) – Universidade Federal da Bahia. Escola de Administração, 2006.

1. Processo decisório. 2. Logística. 3. Engenharia de sistemas. I. Quintella, Rogério Hermida. I. Universidade Federal da Bahia. Escola de Administração. III. Título.

CDD – 658.4035  
21. ed.

## LEONARDO SANCHES DE CARVALHO

**Análise das potencialidades e vantagens do uso da simulação computacional em operações logísticas complexas como ferramenta de auxílio à tomada de decisões: estudo de caso em uma organização industrial.**

Salvador, 14 de março de 2006

### **Banca Examinadora:**

---

Rogério Hermida Quintella, D.Sc  
Professor e Coordenador da Pós-graduação da Escola de Administração da UFBA

---

Herman Augusto Lepikson, D.Eng  
Professor da Escola Politécnica da UFBA – Depto. de Engenharia Mecânica

---

José Célio, D.Sc  
Professor da Pós-graduação da Escola de Administração da UFBA

*Dedico este trabalho, com muito carinho, a minha esposa Daniela e aos nossos filhos, Leonardo e Pedro, aos meus pais, Humberto (in Memoriam) e Lúcia, aos meus irmãos e demais familiares e a minha mãe de coração, Dedé.*

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho é o resultado de muito esforço e dedicação e da cooperação e apoio de muitas pessoas e organizações. Nesta oportunidade faço questão de agradecer:

A Deus, pela oportunidade de viver;

Aos meus pais, Humberto Carvalho (*In Memoriam*) e Lúcia Sanches, por todo o amor e dedicação incondicional para me garantir uma boa educação e me tornar uma pessoa do bem. Pai: sei que o senhor continua olhando por mim! Mãe: a senhora é e sempre será a minha “Mãe Rainha”;

A minha esposa, Daniela, pelo amor, companheirismo e dedicação desde os nossos 16 anos e pelo maior presente que a vida me deu: nossos filhos!

Aos meus filhos, Leonardo e Pedro. Vocês são a razão da minha vida!

A minha segunda mãe, Deinha (Dedé) pelo amor de mãe que me dedicou desde quando eu nasci;

Aos meus irmãos (Lula, Tina e Nani) pelo incentivo e apoio em todos os momentos decisivos da minha vida, pois sempre comemoraram as minhas vitórias e, principalmente, me ajudaram a levantar em minhas derrotas;

Aos meus demais familiares e amigos que acompanharam e acompanham a minha trajetória com ações e palavras de incentivo sem nunca me faltar o “ombro amigo”;

Ao SENAI Cimatec por ter me proporcionado a oportunidade de cursar esse Mestrado.

Aos amigos Daniel Motta e Artur Neto que trabalharam comigo na parte experimental desse trabalho de Mestrado;

A empresa onde desenvolvi o estudo de caso pela acolhida, abertura, incentivo e confiança;

Aos professores e colegas do Mestrado pela convivência e troca de experiências sem igual;

Ao professor orientador Rogério Hermida Quintella, pela objetividade nos comentários e questionamentos, indispensáveis para a conclusão deste trabalho;

E a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a elaboração desse trabalho.

*“Ninguém é tão grande que não possa aprender,  
nem tão pequeno que não possa ensinar”.*

*(Autor Desconhecido)*

## RESUMO

CARVALHO, Leonardo Sanches. **Análise das potencialidades e vantagens do uso da simulação computacional em operações logísticas complexas como ferramenta de auxílio à tomada de decisões: estudo de caso em uma organização industrial.** Salvador, 2006. Dissertação (Mestrado Profissional em Administração) - Escola de Administração, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006.

Esta dissertação se propõe a analisar potencialidades e vantagens de uso da modelagem e simulação computacional em operações logísticas complexas como ferramenta de auxílio à tomada de decisões. Para tanto, foi realizado um estudo de caso em uma organização industrial baiana, localizada no Pólo Petroquímico de Camaçari, onde se aplicou a ferramenta segundo o método de desenvolvimento de projetos de simulação computacional proposto por Law & Kelton (1991). O desenvolvimento do projeto de simulação foi focado nas operações logísticas de carregamento e expedição de caminhões com produtos a granel e embalados (sacaria ou tambores). Essas operações foram caracterizadas de alta complexidade devido a fatores como: existência de carregamentos mistos, diversos pontos de carregamentos, problemas de contra-fluxo de caminhões, além de questões relacionadas à segurança industrial, pelo fato de existir grande fluxo de caminhões próximo a áreas de produção.

Por conta de sua proposta de estudo, essa dissertação tem como substrato teórico uma abordagem sobre a logística e sua evolução, processos de tomada de decisões em cenários complexos, além de uma abordagem dos principais conceitos da modelagem e simulação computacional.

No desenvolvimento da pesquisa, foram identificadas diversas aplicações vantajosas da modelagem e simulação computacional, no entanto, decidiu-se focar na minimização do contra-fluxo de caminhões existente. Daí a criação do índice de contra-fluxo e sua metodologia de obtenção usando a ferramenta de modelagem e simulação computacional. Após a análise dos resultados da simulação, em diversos cenários desenvolvidos e do entendimento sistêmico da situação em estudo, identificou-se como oportunidade de melhoria a relocação de um armazém, a transferência de alguns produtos críticos (grande demanda) para outra área de carregamento, além da implantação de duas novas balanças rodoviárias.

A partir da análise dos resultados obtidos e das conclusões efetuadas é possível ter-se uma idéia clara das vantagens e potencialidades do uso da modelagem e simulação computacional como ferramenta de apoio em processos decisórios complexos nas operações logísticas de unidades industriais.

**Palavras Chave:** Modelagem e Simulação Computacional, Logística, Tomada de Decisão.



## ABSTRACT

CARVALHO, Leonardo Sanches. **Análise das potencialidades e vantagens do uso da simulação computacional em operações logísticas complexas como ferramenta de auxílio à tomada de decisões: estudo de caso em uma organização industrial.** Salvador, 2006. Dissertação (Mestrado Profissional em Administração) - Escola de Administração, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006.

This work considers to analyze potentialities and advantages of using the modeling and computer simulation in complex logistic operations as tool of helping the decision making process. For in such a way, a case study was carried through in a Bahia industrial organization, located in Camaçari, where it was applied the tool, according to the method of project development, purposed by Law & Kelton (1991). The simulation project development was focus in logistic operations of shipment and expedition of trucks with bulk and packed products (bags or large barrels). These operations had been characterized of high complexity due factors as: mixing shipments existence, different loading points, trucks reverse flow problems, beyond questions related to the industrial security, because of the existence of a great trucks flow next the production areas.

This dissertation has as theoretical substratum boarding on logistic and its evolution, decision making processes in complex scenes, beyond a boarding of the main concepts of the modeling and computer simulation.

In this research development, diverse advantageous applications of the modeling and computational simulation had been identified, however, was decided to focus in the trucks reverse flow minimization. Because of that, was created a reverse flow index and its methodology of calculating this index using the tool of modeling and computer simulation. After the analysis of the simulation results, in diverse developed scenes and after the understanding of the situation in a global view, was identified, as improvement chance, the relocation of a warehouse, the transference of some critical products (great demand) for another shipment area, beyond the implantation of two new road scales. From the analysis of the results, it is possible to have a clear idea of the advantages and potentialities of using the modeling and computer simulation as tool of support in complex decision making processes in the logistic operations of industrial plants.

**Key Words:** Modeling and Computational Simulation, Logistic, Decision Making.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Maneiras de se estudar um sistema (Law e Kelton, 1991) .....   | 24 |
| Figura 2: Base conceitual da simulação (Pidd, 1998, p. 226) .....  | 25 |
| Figura 3: Trade-off entre flexibilidade de modelagem e especialização do usuário na<br>ferramenta (Rodrigues, 1994).....                   | 30 |
| Figura 4 – Etapas Básicas de um Projeto de Simulação (elaborada pelo autor). .....   | 33 |
| Figura 5: Passos de um estudo de simulação (Law & Kelton 2000).....  | 34 |
| Figura 6: Definição dos pontos (A e B) de controle de passagem de caminhões. (Elaborada<br>pelo Autor).....                                | 43 |
| Figura 7: Arquivo WITNESS (Startup: Base Model) – Arquivo padrão para iniciação no<br>Software Witness (Retirado do Software Witness)..... | 45 |
| Figura 8: Exemplificação dos menus do Witness. (Retirada do Software Witness).....   | 46 |
| Figura 9A: Standard Bar (retirada do software Witness) .....   | 46 |
| Figura 9B: Advanced Bar (retirada do software Witness) .....   | 46 |
| Figura 9C: Execute Bar (retirada do software Witness).....   | 46 |
| Figura 10: Janela de Diálogo do Witness. (Retirado do Software Witness) .....  | 47 |
| Figura 11: Editor do Witness. (Retirada do Software Witness) .....   | 48 |
| Figura 12: Esquema Logístico Atual – carregamento e expedição na ABC Indústria<br>Petroquímica (Elaborada pelo autor).....                 | 56 |
| Figura 13: Trecho de passagens de caminhões – Curvas praticamente a 90° (Elaborada pelo<br>autor).....                                     | 57 |
| Figura 14: Classificação do modelo de carregamento. (Elaborada pelo autor).....  | 60 |
| Figura 15: Modelo computacional (Elaborada pelo autor).....  | 68 |
| Figura 16: Interact Box – janela de informação de desempenho do modelo. (retirada do<br>software Witness).....                             | 69 |
| Figura 17: Menu com rotina para validação de lógica de programação (retirada do software<br>Witness).....                                  | 70 |
| Figura 18: Modelo representativo do Cenário 1 – Situação Real (Elaborada pelo autor).....  | 74 |
| Figura 19: Modelo representativo do Cenário 2 – Situação Real (Elaborada pelo autor).....  | 75 |
| Figura 20: Modelagem da proposta de construção do novo AX-B unificado ao AX-A<br>(Elaborada pelo autor) .....                              | 76 |
| Figura 21: Modelagem da proposta de construção do novo AX-B separado do AX-A com<br>transferência de produtos. (Elaborada pelo autor)..... | 77 |
| Figura 22: Modelagem da proposta de construção do novo AX-B junto do AX-A sem<br>transferência de produtos. (Elaborada pelo autor).....    | 78 |
| Figura 23: Modelagem da proposta de construção do novo AX-B separado do AX-A sem<br>transferência de produtos. (Elaborada pelo autor)..... | 78 |

**LISTA DE TABELAS**

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1: Evolução da logística (adaptado de Novaes, 1999) _____                      | 15 |
| Tabela 2: Evolução dos sistemas de simulação (Adaptado de Lobão e Porto, 1996). _____ | 30 |
| Tabela 3: Elementos do modelo computacional. (Elaborada pelo Autor). _____            | 67 |
| Tabela 4: Índices de Contra Fluxo para as modelagens. (Elaborada pelo autor) _____    | 79 |

## SUMÁRIO

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b><i>INTRODUÇÃO</i></b>   | <b>1</b>  |
| 1.1      | <b>Caracterização do Tema</b>  | 4         |
| 1.2      | <b>Formulação do Problema</b>  | 5         |
| 1.3      | <b>Premissas e Pressupostos</b>  | 6         |
| 1.4      | <b>Objetivos</b>   | 7         |
| 1.4.1    | <i>Objetivo Geral</i>  | 7         |
| 1.4.2    | <i>Objetivos Específicos</i>   | 7         |
| 1.5      | <b>Justificativas e Relevância da Pesquisa</b>                           | 8         |
| 1.6      | <b>Opções Metodológicas</b>  | 9         |
| 1.7      | <b>Delimitação do Universo de Pesquisa</b>                               | 11        |
| 1.8      | <b>Estrutura</b>   | 12        |
| <b>2</b> | <b><i>REFERENCIAL TEÓRICO</i></b>  | <b>13</b> |
| 2.1      | <b>Logística</b>   | 13        |
| 2.1.1    | <i>Conceito de Logística</i>   | 13        |
| 2.1.2    | <i>Evolução da Logística</i>   | 14        |
| 2.1.3    | <i>Escopo da Logística</i>   | 15        |
| 2.2      | <b>Tomada de Decisões em Cenários Complexos</b>                          | 17        |
| 2.3      | <b>Modelagem e Simulação Computacional</b>                               | 21        |
| 2.3.1    | <i>A Evolução da Pesquisa Operacional</i>                                | 21        |
| 2.3.2    | <i>Sistemas e Modelagem Computacional</i>                                | 24        |
| 2.3.3    | <i>Conceito de Simulação Computacional</i>                               | 25        |
| 2.3.4    | <i>Vantagens e Desvantagens do Uso da Simulação Computacional</i>        | 26        |
| 2.3.5    | <i>Aplicações da Modelagem e Simulação Computacional</i>                 | 26        |
| 2.3.6    | <i>Classificação dos Modelos de Simulação</i>                            | 28        |
| 2.3.7    | <i>Evolução dos Softwares de Simulação Computacional</i>                 | 29        |
| <b>3</b> | <b><i>MÉTODO DE TRABALHO</i></b>   | <b>32</b> |
| 3.1      | <b>Classificação do Estudo</b>   | 32        |
| 3.2      | <b>Instrumentos de Coleta de Dados</b>                                   | 32        |
| 3.3      | <b>Método para Desenvolvimento do Projeto de Simulação Computacional</b> | 33        |
| 3.3.1    | <i>Formulação do Problema e Planejamento do Estudo</i>                   | 35        |
| 3.3.2    | <i>Coleta de Dados e Definição do Modelo</i>                             | 36        |
| 3.3.3    | <i>Validação do Modelo Conceitual</i>                                    | 37        |
| 3.3.4    | <i>Construção do Programa Computacional e Verificação</i>                | 38        |
| 3.3.5    | <i>Realização de Execuções Piloto</i>                                    | 38        |
| 3.3.6    | <i>Validação do Modelo Programado</i>                                    | 39        |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| 3.3.7      | <i>Projeto dos Experimentos</i>   | 40        |
| 3.3.8      | <i>Realização das Execuções de Simulação</i>  | 40        |
| 3.3.9      | <i>Análise de Resultados</i>  | 40        |
| 3.3.10     | <i>Documentação e Implementação</i>   | 40        |
| <b>3.4</b> | <b>Metodologia Aplicada para a Análise Técnica das Simulações Propostas</b>   | <b>42</b> |
| <b>3.5</b> | <b>Software de Simulação Computacional Utilizado</b>  | <b>44</b> |
| 3.5.1      | <i>Pacote de Simulação Witness</i>  | 44        |
| 3.5.2      | <i>Área de Trabalho, Menus e Barras de Ações</i>  | 45        |
| 3.5.3      | <i>Elementos Básicos</i>  | 48        |
| <b>4</b>   | <b>ESTUDO DE CASO</b>   | <b>51</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Caracterização da ABC Indústria Petroquímica</b>   | <b>51</b> |
| <b>4.2</b> | <b>Desenvolvimento do Projeto de Simulação</b>  | <b>52</b> |
| 4.2.1      | <i>Planejamento do Projeto de Simulação</i>   | 52        |
| 4.2.1.1    | <i>Definição da Equipe de Trabalho</i>  | 53        |
| 4.2.1.2    | <i>Formulação do Problema / Diagnóstico da Situação Real</i>  | 53        |
| 4.2.1.3    | <i>Definição dos Objetivos</i>  | 57        |
| 4.2.1.4    | <i>Identificação das Restrições</i>   | 57        |
| 4.2.1.5    | <i>Definição das Especificações do Projeto</i>  | 58        |
| 4.2.2      | <i>Coleta de Dados e Definição do Sistema e Modelo Conceitual</i>   | 60        |
| 4.2.2.1    | <i>Premissas Básicas e Dados Coletados</i>  | 61        |
| 4.2.3      | <i>Construção do Modelo Computacional</i>   | 66        |
| 4.2.3.1    | <i>Elementos do Modelo</i>  | 66        |
| 4.2.3.2    | <i>Verificação e Validação do Modelo</i>  | 68        |
| 4.2.4      | <i>Condução de Experimentos</i>   | 70        |
| 4.2.4.1    | <i>Construção de Cenários</i>   | 71        |
| <b>5</b>   | <b>ANÁLISE DOS RESULTADOS</b>   | <b>73</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Apresentação e Interpretação dos Resultados.</b>   | <b>73</b> |
| 5.1.1      | <i>Cenário 1 – Situação Real.</i>   | 73        |
| 5.1.2      | <i>Cenário 2 - Transferência de produtos de grande demanda da área de carregamento semi-contínuo para a área de carregamento contínuo.;</i>     | 74        |
| 5.1.3      | <i>Cenário 3 – Trata-se do Cenário 2 acrescentado a construção de um novo almoxarifado AX-B unificado com o almoxarifado AX-A já existente.</i> | 75        |
| 5.1.4      | <i>Cenário 4 - Trata-se do Cenário 2 acrescentado a construção de um novo almoxarifado AX-B separado do almoxarifado AX-A já existente;</i>     | 76        |
| 5.1.5      | <i>Cenários 5 e 6 – Tratam-se dos Cenário 3 e 4 sem a transferência do produtos de grandes demanda.</i>   | 77        |
| <b>5.2</b> | <b>Análise Técnica das Situações Propostas</b>  | <b>79</b> |
| 5.2.1      | <i>Metodologia Aplicada</i>   | 79        |
| 5.2.2      | <i>Resultados Obtidos</i>   | 79        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 5.3      | <b>Apresentação dos Resultados e Implementação</b>                                 | <b>80</b>  |
| <b>6</b> | <b><i>CONCLUSÕES DO ESTUDO</i></b>   | <b>81</b>  |
| 6.1      | <b>Avaliação do Projeto de Simulação Desenvolvido</b>                              | <b>81</b>  |
| 6.2      | <b>Avaliação do Estudo Realizado</b>   | <b>83</b>  |
| 6.3      | <b>Potencialidades e Vantagens do Uso da Ferramenta de Simulação Computacional</b> | <b>84</b>  |
| 6.4      | <b>Limitações do Trabalho e Proposta para Estudos Futuros</b>                      | <b>86</b>  |
|          | <b><i>REFERÊNCIAS</i></b>  | <b>88</b>  |
|          | <b><i>ANEXOS</i></b>   | <b>93</b>  |
|          | <b><i>Anexo I</i></b>  | <b>94</b>  |
|          | <b><i>Anexo II</i></b>   | <b>95</b>  |
|          | <b><i>Anexo III-A</i></b>  | <b>96</b>  |
|          | <b><i>Anexo III-B</i></b>  | <b>97</b>  |
|          | <b><i>Anexo III-C</i></b>  | <b>98</b>  |
|          | <b><i>Anexo III-D</i></b>  | <b>99</b>  |
|          | <b><i>Anexo IV</i></b>   | <b>100</b> |

## **1 INTRODUÇÃO**

A história ocidental sofre, periodicamente, grandes transformações. Dentre essas transformações pode-se citar as geradas pelo Renascimento<sup>1</sup> e pela Revolução Industrial<sup>2</sup>. Atualmente uma nova mudança conhecida como a Revolução da Informação, impulsiona o homem e as organizações à sociedade pós-industrial. A visão de mundo, os valores básicos, a estrutura social e política, artes, dentre outras, dessa nova sociedade são muito diferentes da sociedade que a antecedeu (sociedade industrial), pois o volume de informações disponíveis acerca de cada um desses assuntos é imenso e chega ao conhecimento dos indivíduos numa velocidade muito grande. Informação é poder, e poder se disputa. Isso ocorre fortemente na chamada sociedade pós-industrial, podendo-se mapear a distribuição do poder em termos do controle da informação. O poder político se exerce pelo uso da informação, as empresas dominantes no mercado controlam mais informação do que as competidoras e os ricos são ricos também porque são mais informados sobre quase tudo do que os pobres.

O surgimento da sociedade industrial gerou todos os mecanismos voltados para a produção de bens materiais. A sociedade pós-industrial, por sua vez, consolida-se na geração de serviços e na produção e transmissão de informações, através da experiência organizacional e de investimentos no desenvolvimento de novas tecnologias, na criação de grupos de especialistas, na implantação da produção modular, dentre outros (SANTOS, 1990).

Uma série de fatores acarretou a transição da sociedade industrial para a chamada sociedade pós-industrial ou do conhecimento. Dentre eles, pode-se citar: avanços tecnológicos, aumento da exigência dos consumidores, intensificação: do processo de globalização, das megafusões, da maior conscientização ecológica, da competitividade em um mercado global.

---

1. Como Renascimento designa-se o poderoso movimento artístico e literário que surgiu na Itália dos séculos XV e XVI, irradiando-se depois para a Europa, promovendo em toda parte um pronunciado florescimento da arquitetura, escultura, pintura e das artes decorativas, da literatura e da música e um novo enfoque da política.

2. A Revolução Industrial teve início no século XVIII, na Inglaterra, com a mecanização dos sistemas de produção. Enquanto na Idade Média o artesanato era a forma de produzir mais utilizada, na Idade Moderna tudo mudou. A burguesia industrial, ávida por maiores lucros, menores custos e produção acelerada, buscou alternativas para melhorar a produção de mercadorias. Também podemos apontar o crescimento populacional, que trouxe maior demanda de produtos e mercadorias.

As mudanças, ocorridas principalmente no cenário competitivo, obrigaram e ainda obrigam as organizações a criarem soluções inovadoras, que lhes garantam tomadas de decisões mais eficazes, para se manterem vivas no mercado.

Segundo Barbosa (1986), as transformações que possibilitaram essa nova realidade iniciaram-se na década de 50, e foram decorrentes, principalmente, do desenvolvimento dos recursos computacionais. O impacto da tecnologia de informática sobre a ciência vem se revelando considerável, pois essa deixa de ser vista como uma atividade “nobre”, “sem finalidade pré-estabelecida”, para ser um recurso gerador de riquezas. Isso advém da descoberta de que a coleta e o processamento adequado das informações é fator preponderante no sucesso de qualquer empreendimento.

A revolução da informática fez com que a área de tecnologia da informação evoluísse muito rapidamente num espaço relativamente curto de tempo, beneficiando diretamente diversas áreas técnicas, entre as quais se pode ressaltar a logística moderna. Neste ambiente de crescentes exigências, o sistema logístico assume papel fundamental na estratégia competitiva das empresas (BOWERSOX, 1986; BALLOU, 1993; CHRISTOPHER, 1997; CHING, 1999; e NOVAES, 2001). A logística empresarial moderna procura incorporar prazos de entrega menores, acordados de forma que possam ser cumpridos; buscar a integração efetiva entre todos os setores da empresa, com fornecedores (parcerias) e clientes; a otimização global da cadeia produtiva; e a satisfação plena do cliente.

Um outro ponto de crucial importância é o custo. Maior avanço tecnológico implica no gradativo barateamento das tecnologias. Nos dias atuais vemos uma grande disseminação dessas ferramentas computacionais de gestão mais sofisticadas (ERP<sup>3</sup>, WMS<sup>4</sup>, dentre outros) que, há pouco tempo atrás, eram privilégio de algumas organizações de grande porte.

Outro trunfo dos avanços da Tecnologia da Informação (TI) foi o surgimento da modelagem e da simulação. Embora conhecidas desde a década de 50, somente há alguns anos ganhou força, principalmente pelo aporte de informática que recebeu, tornando-se, de fato, mais conhecidas e mais acessíveis a um público muito maior.

---

3 ERP – Enterprise Resources Planning: Sistemas Computacionais de Gestão Integrada.

4 WMS – Warehouse Management System – Sistema Computacional para Gerenciamento de Armazéns.



As pioneiras no uso de modelagem e simulação em operações e logística foram as áreas de mineração, siderurgia e transportes marítimos (SALIBY, 1989). Hoje, devido às facilidades decorrentes da evolução da TI, praticamente encontramos aplicações de modelagem e simulação ao longo de todas as cadeias de suprimentos.

O mercado global sinaliza para um novo modelo de gestão baseado, principalmente, na redução dos custos dos produtos e das margens de lucratividade, além da melhoria substancial do nível de serviços relacionados à distribuição. Um sistema inteligente e eficaz de logística, interno e externo às organizações, é elemento fundamental para a manutenção ou estabelecimento da competitividade das mesmas.

De uma maneira geral, os custos produtivos e a qualidade dos produtos tendem a um grau de semelhança cada vez mais elevado, independente do local de produção e, por isso, um dos grandes diferenciais entre as organizações está nas operações logísticas, ou seja, na capacidade dos produtos chegarem ao cliente final na quantidade certa, no tempo esperado e a um preço justo. Para tanto, precisa-se cada vez mais que a distribuição dos produtos seja feita através de um sistema de logística integrada aos diversos canais de distribuição. Segundo o Centro de Estudos Logísticos (CEL) da Universidade Federal do Rio de Janeiro a logística é um negócio de grandes desafios devido, principalmente, ao seu custo. Segundo Lima (2006), o Brasil gasta cerca de R\$ 133 bilhões com transporte e o modal rodoviário consome cerca de R\$ 109 bilhões desse montante. Isso acontece por conta da precária infra-estrutura existente no país para modais mais baratos como o marítimo e ferroviário. Esse desperdício resulta em altos custos, que vão durar enquanto aproximadamente 60% do transporte de cargas continuar sendo feito pelas rodovias. Ainda segundo o especialista do CEL, o gasto com logística no Brasil, principalmente com transporte e armazenagem, é cerca de 12,6% do Produto Interno Bruto – PIB - aproximadamente R\$ 222 bilhões. Por conta disso, não restam dúvidas sobre a grandeza do mercado de logística do Brasil e dos esforços que as empresas devem fazer para otimizá-lo.

As operações e/ou sistemas logísticos atuais possuem um dinamismo e uma complexidade crescentes. Tem-se um cenário de diversos atores (clientes finais, atacadistas, varejistas, indústrias, fornecedores, transportadores, entre outros), interagindo e sofrendo a influência de fatores externos aleatórios como: prazos de entrega, custos de produção e distribuição, disponibilidade de diversos modais de transporte, grandes distâncias, dificuldades e carências de infra-estrutura apropriada, entre outros. A dinâmica da interação de todos esses atores e

fatores é que constituem a complexidade das operações e/ou sistemas logísticos existentes no Brasil e, principalmente nas suas grandes capitais.

Particularmente, na Bahia, devido às mudanças e a revitalização da sua matriz industrial, pode-se perceber e vivenciar o surgimento desses sistemas logísticos complexos com a vinda da indústria automotiva, das indústrias de transformação de plásticos, do pólo de informática e eletro-eletrônica, da revitalização do setor metal-mecânico e, principalmente, do escoamento da produção agrícola do oeste do Estado. Nesse cenário, a dinâmica dos processos decisórios é muito intensa e as organizações não podem se permitir o risco de tomar decisões erradas. Por esse motivo a modelagem e simulação computacional se traduzem como muito importantes para o projeto e a análise de sistemas logísticos complexos.

As empresas que se destacam pela excelência em logística vêm adotando mais fortemente modernas tecnologias de informação, principalmente sistemas de apoio à decisão, por auxiliar aos gestores na identificação, avaliação e comparação de alternativas operacionais. Dentre os vários aplicativos existentes, a modelagem e a simulação computacional desponta como uma das ferramentas mais fortemente utilizadas na gestão moderna, em particular na área de logística.

## **1.1 Caracterização do Tema**

Na chamada sociedade pós-industrial, a informação e o conhecimento assumem grande importância na preparação dos indivíduos e empresas ao entendimento e à adaptação à realidade. A modelagem e simulação computacional são ferramentas que podem ser utilizadas para a aquisição, construção e organização do conhecimento e da visão sistêmica e a conseqüente obtenção de vantagens competitivas. Esse recurso favorece a educação e o treinamento das pessoas e, conseqüentemente, seu posicionamento frente às constantes e rápidas mudanças de nossa sociedade, exigindo decisões ágeis e racionais dos gestores.

A modelagem e simulação computacional são ferramentas que permitem a diversos profissionais, entre eles o administrador e o engenheiro, realizar as atividades a que se propõe. Através delas, eles podem adquirir a capacidade de identificar, formular e solucionar problemas ligados as atividades de projeto, operação e gerenciamento do trabalho e de sistemas de produção de bens e/ou serviços.

O presente trabalho se propõe a identificar e analisar os aspectos potenciais da modelagem e simulação computacional, principalmente no que se refere ao auxílio nas tomadas de decisões em operações logísticas complexas nas Unidades Industriais, citando como referencial um caso de uma indústria petroquímica baiana.

Esse estudo será baseado em algumas conclusões fundamentadas na literatura e em dados oriundos de pesquisa de campo e laboratorial.

Um estudo a respeito de modelagem e simulação computacional jamais estará completo e especializado, uma vez que essas técnicas possuem uma área de aplicação muito vasta, sendo impossível reunir, em um só trabalho, todos os seus aspectos. Os tópicos que serão abordados nesse trabalho restringem-se a:

- a) Experiências com modelos lógicos matemáticos;
- b) Modelos de filas de espera;
- c) Experiências a serem executadas com computadores;
- d) Experiências que se desenvolvem em longos períodos, sob condições dinâmicas e estocásticas, e cujas soluções não são necessariamente completas e analíticas.

As restrições impostas ao estudo aqui realizado não implicam na ineficiência dos aspectos ou modelos não incluídos; sua adoção visou permitir uma análise adequada da modelagem e simulação computacional como uma ferramenta de auxílio nas tomadas de decisões em processos logísticos complexos de Unidades Industriais baianas.

## **1.2 Formulação do Problema**

As organizações empresariais de todos os setores/segmentos vem enfrentando, ao longo da História, um aumento significativo da competição no ambiente concorrencial. Esse fenômeno se deve a fatores como a intensificação do processo de globalização, aumento do grau de exigência e sofisticação dos seus clientes, rápido avanço tecnológico, entre outros. Para superar essas dificuldades as empresas necessitam, além de profissionais bem qualificados, de meios que as ajudem a entender a dinâmica dos sistemas nas quais estão inseridas. Quando o mundo muda as organizações precisam se adaptar à nova realidade rapidamente ou até mesmo antever tais mudanças e, para isso precisam de ferramentas que as auxiliem nas tomadas de decisões.

O desafio de atuar em sistemas complexos está intimamente relacionado com o processo de tomada de decisões gerenciais. Conforme salienta Pidd (1998), não há certeza acerca das conseqüências decorrentes de mudanças promovidas em sistemas complexos. Tal certeza só se tornaria possível a partir do completo controle sobre os eventos, o que geralmente é difícil de operacionalizar. Todavia, assinala o referido autor, existem formas de minimizar os riscos e de gerenciar a complexidade dos sistemas.

Abre-se espaço para o uso de ferramentas para auxiliar o processo de aprendizagem e compreensão de sistemas com o intuito de dar suporte às tomadas de decisão, e é neste sentido que este trabalho está sendo realizado.

O desafio é saber se a modelagem e simulação computacional são ferramentas mais eficientes, através das quais os tomadores de decisão, nos processos logísticos das unidades industriais, podem adquirir conhecimentos sobre o sistema e ambientes nos quais estão inseridos, buscando melhorá-los. Essas ferramentas, de fato, são eficazes no auxílio à tomadas de decisões complexas? São capazes de criar novas definições sobre as complexas relações entre os elementos do sistema estudado? São adequadas para a análise de diferentes cenários, políticas e estratégias operacionais?

Assim, o objeto dessa pesquisa pode ser resumido na seguinte questão:

**Quais as potencialidades e vantagens geradas pela utilização da modelagem e simulação computacional como uma ferramenta de auxílio nas tomadas de decisões complexas em operações logísticas de unidades industriais?**

### **1.3 Premissas e Pressupostos**

Esse trabalho buscará responder ao problema proposto, ou seja, a questão de pesquisa a partir das seguintes premissas/pressupostos básicos:

Premissas:

- a) A modelagem e simulação computacional são ferramentas de auxílio a tomada de decisões nas organizações;
- b) Devido ao aumento da complexidade das operações logísticas, as organizações estão utilizando mais fortemente sistemas de modelagem e simulação computacional;

- c) Os avanços tecnológicos da informática implicaram em aumento significativo do uso da modelagem e simulação computacional;

#### Pressupostos

- a) O uso correto da modelagem e simulação computacional otimiza os recursos necessários em um sistema logístico complexo;
- b) Ocorre minimização do risco nas operações logísticas em que se usa do auxílio da modelagem e simulação computacional;
- c) A modelagem e simulação computacional geram vantagens competitivas para as organizações que fazem uso delas.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo primordial desse trabalho é demonstrar a aplicação prática da modelagem e simulação computacional como uma ferramenta capaz de auxiliar as organizações industriais nos processos de tomada de decisões em cenários logísticos complexos.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

Com o propósito de alcançar o objetivo principal deste estudo, os seguintes objetivos específicos devem ser atingidos:

- a) Investigar se há redução de risco e otimização de recursos nas operações logísticas da organização industrial estudada;
- b) Verificar se a utilização de modelagem e simulação computacional possibilita a geração/obtenção de vantagens competitivas;
- c) Analisar a adequação da metodologia e das ferramentas de modelagem e simulação computacional com operações logísticas complexas;
- d) Verificar se o *trade-off* custo/benefício, na implantação de sistemas ou na aquisição de serviços de modelagem e simulação computacional, é positivo;

Obs.: Ao longo do texto o termo otimização não será utilizado baseando-se no conceito matemático de “ponto ótimo” e sim como sinônimo de melhoria, conforme é comumente usada na seara de modelagem e simulação computacional.

## **1.5 Justificativas e Relevância da Pesquisa**

A compreensão do impacto das tomadas de decisões em cenários logísticos complexos de organizações industriais é um importante elo para a melhoria das operações ao longo de toda a cadeia logística e, por conseguinte, o barateamento do seu custo. Assim, o desenvolvimento de um estudo com o objetivo de identificar potencialidades e vantagens geradas pelo uso de ferramentas de modelagem e simulação computacional nesses ambientes de alto nível de complexidade se mostram relevantes.

A partir da década de 50, a sociedade entrou numa nova fase, denominada por diversos autores como sociedade pós-industrial, como já abordado na seção introdutória desse trabalho, cujo principal recurso estratégico é o conhecimento. Pode-se até afirmar que hoje a informação pura e simples já não garante um diferencial competitivo. Para assegurar um lugar no futuro, as organizações precisam aprender a transformar as informações em conhecimento, e utilizá-lo para obter novos resultados, diversificar mercados e satisfazer os seus clientes.

O investimento em novas tecnologias de produto ou processo é alto e arriscado. Contudo, é essencial, para a sobrevivência das organizações, o uso de recursos que garantam a eficácia e a viabilidade econômica de novas tecnologias, a um baixo custo e, principalmente com pequeno ou nenhum risco (LEPIKSON, 1998). Uma das alternativas para alcançar tal objetivo é a implementação modelagens e simulações computacionais para o estudo de sistemas logísticos complexos em organizações industriais.

A modelagem e simulação permitem a transformação de informações em conhecimento, o qual será aplicado no processo de tomada de decisões. Num mundo globalizado e turbulento, tal ferramenta poderá se mostrar eficiente na tarefa de propiciar às organizações a oportunidade de aprender a pensar e tomar decisões de forma rápida e flexível. Além disso, as ferramentas de modelagem e simulação computacional estimulam a análise crítica de dados, a formulação de perguntas e a descoberta de respostas, a visão sistêmica, entre outras.

Outra motivação para a realização deste estudo provém da dificuldade de se encontrar publicações no Brasil sobre o uso da simulação computacional em organizações industriais, constituindo, assim, uma contribuição para a difusão da metodologia de modelagem e simulação através de ferramentas computacionais. Neste particular, cabe referir que muitas das aplicações desenvolvidas em organizações industriais acabam sendo restritas ao seu ambiente originário e não são compartilhadas.

A oportunidade da análise desenvolvida no estudo de caso proposto por esse trabalho assenta-se na importância de conhecer alternativas que permitam atingir melhorias nos processos antes de causar impactos sobre o fluxo de trabalho real, ou seja, conhecer os resultados possíveis antes mesmo da implementação prática da solução. Para tanto, o primeiro passo a ser dado consiste em entender o sistema real a ser estudado. Por conta disso é que a simulação computacional tem sido citada como uma ferramenta eficaz para melhorar esse entendimento (LAW & KELTON, 1991; PIDD, 1998).

## **1.6 Opções Metodológicas**

O presente estudo é classificado como pesquisa aplicada, uma vez que tem como objetivo a geração de conhecimentos para aplicação prática dirigida à solução de problemas específicos (SILVA & MENEZES, 2001).

De acordo com Ferrari (1974), esse tipo de pesquisa está vinculada ao valor prático ou pragmático de um tema. Ainda segundo ele, apesar da finalidade prática da pesquisa, ela “pode contribuir teoricamente com novos fatos para o planejamento de novas pesquisas, ou mesmo para a compreensão teórica de certos setores do conhecimento”.

Do ponto de vista dos procedimentos de levantamento de dados, o estudo é baseado em uma pesquisa de campo (levantamento de dados de uma situação/problema real) com manipulação de dados/resultados em laboratórios, suportada por uma pesquisa bibliográfica.

A pesquisa de campo aparece como elemento fundamental, uma vez que suprirá o pesquisador com os dados de entrada e condições de contorno da situação problema estudada.

Segundo Arantes (1971), citado por Fachin (2001), a pesquisa bibliográfica constitui o “ato de ler, selecionar, fichar, organizar e arquivar tópicos de interesse para a pesquisa em pauta”. A pesquisa bibliográfica foi realizada com a finalidade de conhecer as contribuições científicas sobre os conceitos aqui empregados (entre eles o processo decisório, modelagem e simulação, logística integrada, etc.).

De acordo com Fachin (2001), todo tipo de estudo deve ser apoiado e respaldado por uma pesquisa bibliográfica ampla e cuidadosa, mesmo que se baseie em uma pesquisa de laboratório ou de campo.

A pesquisa de laboratório, por sua vez, refere-se a experiências limitadas a um recinto fechado e condicionado a certas manipulações (FERRARI, 1974). Essas experiências requerem instrumentos próprios como, no caso do presente estudo, um pacote de simulação e um computador.

Tripodi (1981) caracteriza a pesquisa de laboratório como estudos experimentais nos quais o investigador cria uma situação isolada, num ambiente artificial e com variáveis hipotéticas. As relações entre as variáveis são examinadas pela manipulação destas e pelo controle da potencial influência das variáveis extrínsecas à hipótese testada. Esse tipo de pesquisa oferece a vantagem de se controlar a cronologia da pesquisa, desde o instante inicial. Através dela, é possível verificar situações de causa e efeito; por exemplo, se a causa for aumentada, constata-se que houve aumento do efeito etc. (FACHIN, 2001).

Segundo Ferrari (1974), apesar das características citadas anteriormente, essa pesquisa não deixa de ter suas exigências, que derivam de três fontes: da instrumentação, dos objetivos e da manipulação do instrumental, para alcançar os objetivos previstos. A instrumentação refere-se aos recursos (equipamentos, espaço físico etc.) que serão utilizados. Esses recursos oferecem ao cientista a precisão e ampliação necessárias.

O objetivo direciona todos os passos e esforços na pesquisa de laboratório; é ele que contém a meta a ser atingida. Por sua vez, o experimento de laboratório é definido como a criação de uma situação na qual manipulam-se certas variáveis para atingir uma determinada meta. Esses experimentos de laboratório, agora chamados de simulações foram realizados com base em uma metodologia de condução de projetos de simulação sugerida por Law & Kelton (1991), e possui os seguintes passos: formulação do problema, planejamento do estudo, coleta de dados, definição do modelo, validação do modelo conceitual, construção e verificação do programa computacional, realização de execuções piloto, validação do modelo programado, projeto dos experimentos, realização das execuções de simulação, análise de resultados e documentação e implementação.

Cabe destacar que os recursos computacionais utilizados para o tratamento dos dados e construção dos modelos de simulação nesse trabalho de pesquisa foram disponibilizados pelo SENAI Cimatec – Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia (SENAI – DR/BA), através do seu Laboratório de Tecnologia da Informação, laboratório este, equipado ainda com vários



*softwares* de simulação computacional, dentre os quais o Witness que foi a ferramenta utilizada nesse trabalho devido ao nível de conhecimento do autor.

## 1.7 Delimitação do Universo de Pesquisa

É intenção do trabalho explorar especificamente as potencialidades e vantagens geradas pela aplicação da modelagem e simulação computacional como ferramenta de auxílio nas tomadas de decisões complexas das operações logísticas das organizações industriais, sem, contudo, contemplar todas as variáveis reais neste ambiente simulado. O princípio reside em investigar operações logísticas complexas de uma organização real e partir para a formulação da questão de forma sistêmica, transportando o modelo real para dentro de um ambiente de *software* reprisável, parametrizável, utilizável por profissionais em ambientes gerenciais operacionais, onde ocorrem situações de decisão diária de abastecimento de sistemas produtivos ou mercado.

O trabalho não pretende exaurir as questões de modelagem e simulação em ambientes logísticos complexos, incentivando outros pesquisadores a continuarem o modelo, introduzindo questões novas e ampliando a aderência à realidade. O trabalho está limitado a:

- a) Modelagem e simulação computacional estocástica<sup>5</sup>;
- b) Sistemas/operações logísticas complexas de organizações industriais;
- c) Estudo de uma organização baiana;
- d) O recorte temporal da pesquisa bibliográfica obedecerá aos últimos 50 anos para se fazer coincidir com o surgimento da metodologia da modelagem e simulação. Porém, a situação problema, ou melhor, o caso de estudo prático trata da otimização de operações logísticas complexas, por intermédio de modelagem e simulação computacional, de uma grande indústria petroquímica localizada no Pólo Petroquímico de Camaçari, realizado no segundo semestre de 2003.

---

5. Estocástica: baseado em probabilidades, ou seja, envolve algum tipo de incerteza nos dados de entrada e, como consequência os dados de saída são afetados pela aleatoriedade.

Assim, o trabalho será estruturado dos conceitos às aplicações e resultados, pretendendo ser um trabalho que propicie a difusão do uso da modelagem e simulação computacional nas organizações industriais, principalmente as baianas, partindo-se do pressuposto das vantagens

geradas. No entanto, o mesmo é uma construção que pode evoluir em função do interesse que possa vir a despertar futuramente.

Vale ressaltar que em nenhum momento está se colocando a modelagem e simulação computacional como fonte única de apoio à tomada de decisões. O intuito da pesquisa é mostrar que a modelagem e simulação computacional se configuram como uma importante ferramenta de apoio aos processos decisórios, porém não se pode relegar outros fatores como a *expertise* do profissional adquirida ao longo de sua carreira, por exemplo.

## 1.8 Estrutura

A estrutura deste trabalho inclui seis capítulos.

Capítulo 1 – Introdução: busca prover informações para a compreensão do trabalho realizado. Define-se, neste capítulo, o problema de pesquisa, apresentam-se os objetivos, a justificativa da pesquisa, e descrevem-se as delimitações da pesquisa e a estrutura da dissertação.

Capítulo 2 – Referencial Teórico: neste capítulo apresenta-se o aporte teórico necessário à discussão do tema em estudo. São abordados temas como logística integrada, tomada de decisão, pesquisa operacional e os princípios básicos da técnica de modelagem e simulação computacional.

Capítulo 3 – Método de Trabalho: são apresentados as etapas do trabalho e o método aplicado para o desenvolvimento da dissertação e do projeto de simulação computacional.

Capítulo 4 – Estudo de Caso: destina-se à apresentação do estudo de caso realizado a partir da descrição do desenvolvimento do trabalho. É caracterizado o objeto em estudo e apresentado o projeto de simulação computacional desenvolvido.

Capítulo 5 – Análise dos Resultados: reúne os resultados e interpretações obtidas com a simulação. Também são identificadas as oportunidades de melhorias e a forma de apresentação e implementação dos resultados.

Capítulo 6 – Conclusões do Estudo: são apresentadas as conclusões obtidas com o estudo buscando responder aos objetivos propostos. Apresentam-se também sugestões para pesquisas futuras.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta as bases teóricas para a realização deste trabalho. Inicialmente faz-se uma breve descrição de logística e sua evolução até a definição de logística integrada, com o intuito de contextualizar o caso real estudado, onde foi aplicado a metodologia de modelagem e simulação computacional. Na seqüência são abordados conceitos que envolvem o processo de tomada de decisões em cenários complexos até chegar nas ferramentas de modelagem e simulação computacional.

### 2.1 Logística

A logística tem sido usada desde os tempos mais remotos da civilização, entretanto, paradoxalmente, sua conceituação é moderna. Na sua acepção moderna, a logística tem origem na Segunda Guerra Mundial estando ligada às operações militares. Segundo Hall (1985), o termo logística começou a ser utilizado para descrever uma variedade de ferramentas analíticas utilizadas para maximizar a eficiência do fluxo de materiais, a utilização de equipamentos e as pessoas durante a guerra. Após a Segunda Guerra Mundial, os conceitos e técnicas desenvolvidas para fins militares passaram a migrar para o setor privado. Em seguida serão vistas algumas definições de logística encontradas na bibliografia disponível e também uma definição particular do autor desse trabalho.

#### 2.1.1 Conceito de Logística

Uma revisão conceitual sobre a logística permite observar que diversas abordagens foram elaboradas ao longo das últimas décadas, corroborando seu caráter evolutivo. Em seu conceito de logística Daganzo (1991) enfatiza a distribuição física dos produtos. Para ele, a logística estuda como levar itens da produção para o consumidor com o menor custo.

Enfoques mais abrangentes se preocupam não só com a distribuição do produto acabado, mas também englobam o fluxo de produtos e informações desde a aquisição da matéria-prima até o consumidor final. Neste sentido, Ballou (1993) define a logística empresarial como:

(...) todas as atividades de movimentação e armazenagem, que facilitam o fluxo de produtos desde o ponto de aquisição da matéria-prima até o ponto de consumo final, assim como dos fluxos de informação que colocam os produtos em movimento, com o propósito de providenciar níveis de serviço adequados aos clientes a um custo razoável.

Também em uma perspectiva ampla o *Council of Logistics Management* americano (*apud* NOVAES, 2001) define a logística como:

(...) o processo de planejar, implementar e controlar de maneira eficiente o fluxo e a armazenagem de produtos, bem como os serviços e informações associadas, cobrindo desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o objetivo de atender aos requisitos do consumidor.

Pode-se fazer uso dos conceitos até aqui apresentados e definir a logística como sendo um conjunto de ações de planejamento e controle do fluxo físico de bens e/ou serviços, do fluxo de informações e do fluxo financeiro associado, desde o fornecedor de insumos básicos até o cliente final, visando o atendimento das necessidades deste no tempo certo e ao menor custo possível.

Desde o surgimento do termo Logística, há aproximadamente cinquenta anos, que seu conceito vem crescendo e evoluindo conforme será mostrado na sub-seção seguinte.

### **2.1.2 Evolução da Logística**

Bowersox (1986), Ballou (1993), Lambert *et al.* (1998), Novaes (1999), Ching (1999), apontam a evolução contínua da logística através da ampliação de suas atividades, atualmente voltadas ao desenvolvimento do gerenciamento da cadeia de suprimento de forma integrada. Tal evolução decorre das mudanças verificadas na administração das organizações, que buscam adaptar-se às novas exigências de mercado. Novaes (1999) divide o processo de evolução da logística em quatro fases esquematizadas na tabela 1. Partiu-se do período Pós-Guerra com o foco muito grande em controle de custos, lotes econômicos de transporte e grandes estoques com pulmão. A atuação dos atores da cadeia de suprimentos era segmentada, não havia integração. Na segunda fase já se busca alguma integração, porém rígida, face ao surgimento de dificuldades como a diversificação da demanda e a crise do petróleo e também devido ao desenvolvimento da informática. Já na terceira fase o processo de integração se tornou mais flexível, produtos e mercados foram diversificados, buscava-se o estoque zero, os processos produtivos se tornaram mais flexíveis, em vista da satisfação plena do cliente. A quarta fase trata do gerenciamento da cadeia de suprimento, onde a logística passa a ser tratada de forma estratégica e a busca de parcerias e colaboração na cadeia é uma tônica com vistas a redução total do seu custo.

| FASE  | AMBIENTE  | FOCO   |
|---|---|--|
| <b>1ª - Atuação Segmentada</b><br>Sub-sistemas otimizados separadamente, com estoques servindo de pulmão.   | Pós II Guerra Mundial<br>Produtos únicos (pouca flexibilidade)<br>Voltados para único segmento  | Controle de Custos<br>Lotes econômicos de transportes<br>Pedido econômico  |
| <b>2ª - Integração Rígida</b><br>Busca inicial de racionalização integrada da cadeia, mas rígida por não permitir correção dinâmica do planejamento ao longo do tempo | Crise do petróleo: reflexo no aumento do custo de transporte<br>Congestionamento crescente dos centros urbanos com reflexo no custo de distribuição<br>Desdobramento da demanda em grupos heterogêneos de consumidores (segmentação de mercado)<br>Desenvolvimento da informática | Maior integração entre pedidos de fabricação e despacho<br>Processo de decisão integrado<br>Otimização de atividades e planejamento<br>Uso da informática para cálculos e otimização<br>Processos produtivos flexíveis, para maior variedade do produto                      |
| <b>3ª - Integração Flexível</b><br>Integração dinâmica: dentro da empresa e nas inter-relações da empresa com fornecedores e clientes                                 | Globalização: reflexo nos níveis de competitividade internacional<br>Mudança nos modelos de gestão<br>Emergência de novos padrões de qualidade e produtividade<br>Diversificação de produtos e mercados   | Satisfação plena do cliente<br>Busca do estoque zero<br>Prazos de entrega mais curtos possíveis<br>Redução de custos<br>Competitividade<br>Integração da Logística em termos operacionais e físicos<br>Uso intensivo da informação e da informática                          |
| <b>4ª - Gerenciamento da Cadeia de Suprimento</b>   | Elevação dos níveis de competitividade<br>Empresas virtuais<br>Uso do conceito de postponement (postergação)<br>Crescimento das compras eletrônicas   | Questão logística tratada de forma estratégica entre os componentes da cadeia produtiva - parceria<br>Agregação de valor para o cliente final<br>Redução de incertezas ao longo da cadeia produtiva<br>Preocupação com o meio ambiente - logística verde e logística reversa |

Tabela 1: Evolução da logística (adaptado de Novaes, 1999)

Para um melhor entendimento da logística integrada voltada ao gerenciamento da cadeia de suprimento, faz necessário um detalhamento básico do escopo da logística, conforme se pode verificar na sub-seção seguinte.

### 2.1.3 Escopo da Logística

Ballou (1993) desdobra o sistema logístico integrado em dois componentes básicos, quais sejam:

- a) *componente primário*: constituído pelo transporte, manutenção de estoques e pelo processamento de pedidos;

- b) *componente de apoio*: constituído pela armazenagem, manuseio de material, embalagens de proteção e manutenção de informação.

A logística engloba a movimentação física dos produtos e o fluxo de informações, podendo ser usada em diversas áreas, entre as quais destaca-se a área de transporte de suprimentos, a área de apoio à produção e a área de transporte de distribuição. Os temas a serem tratados na atividade logística apresentam-se bastantes diversificados, como exemplo:

- a) Fluxo de compras de matérias-primas;
- b) Operações de produção;
- c) Controle de materiais e processos;
- d) Gerenciamento de transporte que abrange a movimentação de materiais internos e externos à empresa;
- e) Distribuição para os clientes finais a partir da fábrica e/ou depósitos intermediários;
- f) Recebimento de matéria-prima;
- g) Armazenagem.

Já Hall (1985) divide as atividades logísticas em produção, armazenagem e transporte. Este sintetiza o escopo das operações logísticas enfatizando sua dimensão temporal (quando) e espacial (onde) através de três questões chaves, a saber:

1. Quando e onde os bens devem ser produzidos?
2. Quando e onde os bens devem ser armazenados?
3. Quando e onde os bens devem ser transportados?

Segundo Novaes (1999), além da dimensão temporal e espacial, citadas por Hall (1985), que agregam valor para o consumidor final, a logística agrega valor, também, de qualidade e de informação na cadeia produtiva. Estas dimensões que agregam valor ao consumidor final são evidenciadas na definição da missão da logística apresentada por Ching (1999):

- *fornecer quantidade desejada de serviços aos clientes, objetivando alcançar níveis de custos aceitáveis e competitivos;*
- *proporcionar subsídios e condições para que se movimentem da maneira mais rápida e eficaz possível;*
- *contribuir para gestão comercial da companhia, por meio da confiabilidade e eficácia da movimentação dos materiais, bem como nos prazos e metas de atendimento aos pedidos efetuados pelos clientes.*

Com base nas definições de escopo da logística apresentados, pode-se destacar que a logística passa a ser vista e valorizada como integradora das várias funções ao longo da cadeia

produtiva, sua base conceitual tem evoluído de forma a considerar sistemicamente todas as atividades que se relacionam direta e indiretamente aos fluxos físico e de informação. De fato, dentro do conceito moderno de gerenciamento da cadeia produtiva, a logística aparece como elemento chave de integração (NOVAES, 1999). Essa integração sugere relações entre os diversos atores da cadeia de suprimento, relações essas baseadas em processos sucessivos e dinâmicos de tomadas de decisões em um ambiente na maioria das vezes com um nível de complexidade elevado, conforme já discorrido de forma sucinta no capítulo introdutório deste trabalho e agora será melhor detalhado na sub-seção 2.2.

## **2.2 Tomada de Decisões em Cenários Complexos**

Simon (1965) considera as decisões como processos de escolha de seres humanos resultantes de conclusões derivadas de premissas. Para ele existem limites de racionalidade que decorrem da incapacidade da mente humana em aplicar a uma decisão todos os aspectos de conhecimento, valor, comportamento e conseqüências da escolha importantes para uma tomada de decisão. Neste sentido, a percepção do tomador de decisão alcança apenas uma parcela das alternativas de determinada situação.

Para Simon (1965) “(...) o ser humano possui apenas um conhecimento fragmentado das condições que cercam sua ação, e ligeira percepção das regularidades dos fenômenos e das leis que lhe permitiriam gerar futuras conseqüências com base no conhecimento das circunstâncias atuais”.

De maneira complementar às afirmativas de Simon (1965) sobre as limitações do ser humano, citadas anteriormente, segundo Pidd (1998), o homem que vive no mundo ocidental depende também de ajuda artificial para a sua sobrevivência: viaja-se longas distâncias de carro, barco ou avião, cozinha-se em equipamentos abastecidos por gás ou eletricidade e concorda-se que computadores possibilitam comunicação instantânea por todo o globo. Faz-se parte de um mundo interconectado no qual as decisões podem ter maiores conseqüências para o meio individual e/ou coletivo.

Quando se tomam boas decisões espera-se que todos se beneficiem com o que acontece a seguir. Mas também se tem a ciência de que, quando as coisas acabam mal, as conseqüências podem ser de fato desastrosas. Isto também é verdade nos negócios. Por exemplo, os custos de um fabricante que decide construir uma nova fábrica, ou reequipar uma fábrica já existente, podem ser enormes. Claramente, os gestores farão tal investimento apenas se

considerarem que o negócio gerará algum retorno. Mas como eles podem ter certeza de que suas decisões acontecerão como pretendido? Como eles podem ter certeza de que haverá demanda suficiente para os produtos que a fábrica produzirá? Como eles podem ter certeza de que as tecnologias usadas na fábrica funcionarão da maneira esperada? As conseqüências das falhas podem ser muito caras e até mesmo perigosas. Uma maneira de ajudar a melhorar este planejamento é descobrir meios de aprender a partir das falhas que ocorrem algumas vezes (FORTUNE e PETERS, 1995 citado por PIDD, 1998). Este aprendizado implica que os investigadores tenham algo ou um modelo contra o qual o desempenho do sistema possa ser comparada.

De forma similar aos questionamentos citados para o meio organizacional, pode-se inferir sobre os efeitos de desastres naturais, como terremotos e enchentes, ameaçam a vida do homem e, nessa seara pode-se destacar o terremoto de Kobe no Japão em 1985 e mais recentemente, em 2005, o Tsunami (onda gigante gerada por distúrbios sísmicos) que atingiu vários países da Ásia e o furacão Katrina que devastou a cidade de Nova Orleans nos Estados Unidos em 2005. Como os *experts* em desastres naturais podem avaliar os riscos de tais acidentes acontecerem?

É impossível, evidentemente, ter certeza do que acontecerá quando fazemos mudanças em sistemas complexos, uma vez que só teremos certeza do que ocorrerá quando tivermos completo controle sobre os eventos. Contudo, existem maneiras de minimizar o risco e de gerenciar a complexidade. A complexidade da vida moderna veio para ficar e nós devemos, desta maneira, adotar abordagens adequadas para lidar com ela.

Segundo Gomes et al. (2004) os problemas complexos da tomada de decisões são comuns em uma infinidade de áreas, tanto públicas, quanto privada e desde tempos remotos o homem tenta resolvê-los, apoiando-se em abstrações, heurísticas e raciocínios dedutivos, a fim de guiar e validar suas escolhas. De maneira geral, tais problemas possuem, pelo menos, uma das características a seguir:

- a) Os critérios de resolução do problema são, no mínimo, dois que conflitam entre si;
- b) Tanto os critérios como as alternativas não estão claramente definidos, e as conseqüências da escolha de uma determinada alternativa, com relação a pelo menos um critério, não são devidamente compreendidas;



- c) Os critérios e as alternativas podem estar interligados, de forma que um dado critério parece refletir parcialmente um outro critério, enquanto a eficácia em optar por uma alternativa específica depende de que uma outra seja ou não escolhida, no caso de as alternativas não serem mutuamente excludentes;
- d) A solução do problema depende de um conjunto de pessoas, cada uma com o seu próprio ponto de vista, muitas vezes conflitante com os das demais pessoas;
- e) As restrições do problema não estão bem definidas, podendo existir dúvidas a respeito do que é critério e do que é restrição;
- f) Alguns dos critérios são quantificáveis, enquanto outros somente o são por meio de juízos de valor efetuados sobre uma escala;
- g) A escala para um determinado critério pode ser cardinal, verbal ou ordinal, dependendo dos dados disponíveis e da própria natureza dos critérios.

Outras implicações podem surgir em um contexto real de tomada de decisões, mas os sete aspectos mencionados caracterizam essa complexidade e explicam de forma um pouco mais abrangente a definição de sistemas complexos inicialmente sugerido no capítulo introdutório desse trabalho. Em geral, problemas dessa natureza são considerados mal-estruturados.

Para resolver problemas complexos, até a primeira metade do século XX, utilizava-se basicamente os recursos da matemática para a tomada de decisões em condições aleatórias; porém, em muitas situações, observava-se que o risco associado a tal procedimento era inaceitável.

Com o fim de Segunda Guerra Mundial, em função da experiência obtida pelas Forças Aliadas sobre problemas logístico-militares, um grande número de organizações de pesquisa dedicou-se a análise e à preparação de decisões, usando a então a nascente Pesquisa Operacional, conforme será um pouco mais explicitado no item 2.3. Os métodos da Pesquisa Operacional fazem parte da otimização clássica e muitos deles ainda são utilizados atualmente.

Na década de 70, começam a surgir os primeiros métodos de Apoio ou Auxílio Multicritério à Decisão, com o intuito de enfrentar situações específicas, nas quais um decisor, atuando com racionalidade, deveria resolver um problema em que vários eram os objetivos a serem alcançados de forma simultânea.

Os métodos de Apoio Multicritério à Decisão tem caráter científico e, ao mesmo tempo, subjetivo, trazendo consigo a capacidade de agregar, de maneira ampla, as características consideradas importantes, inclusive as não quantitativas, com a finalidade de possibilitar a transparência e a sistematização do processo referente aos problemas de tomada de decisões. Esses métodos valem-se de um enfoque diferenciado dos problemas e passam a atuar sob a forma de auxílio à decisão, envolvendo não somente uma representação multidimensional dos problemas, mas também incorporando uma série de características bem definidas em relação à sua metodologia, tais como:

- a) A análise do processo de decisão, em que essa metodologia é aplicada, tem sempre o objetivo de identificar informações/regiões críticas;
- b) A existência de uma melhor compreensão acerca das dimensões do problema;
- c) A possibilidade de haver diferentes formulações válidas para o problema;
- d) A aceitação de que, em problemas complexos, as situações nem sempre se ajustam a um perfeito formalismo e, em particular, de que estruturas que representam de forma parcial a comparabilidade entre as alternativas podem ser relevantes no processo de auxílio à decisão;
- e) O uso de representações explícitas de uma estrutura de preferências, em vez de representações numéricas definidas artificialmente, muitas vezes pode ser mais apropriado a um problema específico de tomada de decisões.

A partir dessas características, percebe-se o esforço para representar, o mais fielmente possível, as preferências do decisor ou do grupo de decisores, embora essas preferências não sejam totalmente consistentes. Deve-se notar, inclusive, que o estudo do problema de decisões, a partir do enfoque do Apoio Multicritério à Decisão, não procura apresentar ao decisor ou decisores uma solução para o problema, elegendo uma única verdade representada pela alternativa escolhida. Pretende, conforme seu nome sugere, apoiar o processo de decisão ao recomendar ações ou cursos de ação a quem vai tomar a decisão.

Existe na literatura atual uma grande variedade de métodos derivados do Apoio Multicritério à Decisão, será foco desse trabalho de dissertação a metodologia de Modelagem e Simulação Computacional como ferramenta de apoio à tomada de decisões em cenários complexos. Por conta disso faz-se necessário o entendimento da metodologia de modelagem e simulação desde o seu advento primário através da pesquisa operacional, sua evolução concomitante

com a evolução da informática até chegar as ferramentas de modelagem e simulação computacionais, passando por sua classificação e aplicações.

## 2.3 Modelagem e Simulação Computacional

### 2.3.1 A Evolução da Pesquisa Operacional

Antes de discorrer sobre modelagem e simulação computacional, faz-se necessário introduzir a definição e fazer um breve histórico sobre a Pesquisa Operacional, pois é de domínio público que a simulação computacional é o desdobramento da Pesquisa Operacional somada ao aporte tecnológico de informática existente nos dias atuais.

A evolução da pesquisa operacional pode ser dividida em três fases distintas: antes da Segunda Guerra Mundial, quando as aplicações eram isoladas; durante a Segunda Guerra, com fins puramente militares; e no período pós-guerra, como instrumento gerencial.

A revolução industrial trouxe ao mundo um notável crescimento no tamanho e complexidade das organizações. Essa revolução proporcionou um aumento na divisão do trabalho e das responsabilidades nas empresas. Os resultados foram excelentes, mas junto com eles surgiram problemas. Dentre esses problemas encontra-se, por parte dos segmentos organizacionais, a perda da visão do objetivo organizacional e de como as atividades das organizações devem interagir para atingi-lo. Outro problema relacionado é a alocação dos recursos disponíveis entre as várias atividades de maneira eficaz. Esses problemas, bem como a necessidade de solucioná-los, proporcionaram um incentivo a estudos científicos que hoje podemos relacionar com a pesquisa operacional. Segundo Ellenrieder (1971), esses estudos não possuem todas as características da PO, mas permitem a observação de alguns pontos importantes. Dentre esses estudos, estão os trabalhos de:

- a) Arquimedes: físico e matemático que idealizou a defesa da cidade de Siracusa, descobrindo novas armas e táticas;
- b) Frederick W. Lanchester: inglês que lidou com o problema de traduzir complexas estratégias militares em fórmulas matemáticas;
- c) Thomas Alva Edison: durante a Primeira Guerra Mundial, utilizou um tabuleiro de jogo tático para determinar rotas e outras técnicas que permitissem aos navios mercantes escapar aos submarinos inimigos.
- d) Técnicas semelhantes foram utilizadas, nessa mesma guerra, pelo Comando Geral Prussiano;

- e) Frederick W. Taylor: iniciou uma série de estudos objetivando o aumento da eficiência de determinadas operações industriais. Taylor denominou seus métodos de “administração científica” e os descreveu num livro editado em 1911 (“The Principles of Scientific Management”). A Taylor seguiram-se outros pesquisadores com contribuições à administração organizacional: Gantt, Gilbreth, Stewart etc.
- f) Horace C. Levinson: na década de 1930, iniciou a aplicação da análise científica de dados e deduziu, baseado nos mesmos, problemas de comércio. Seus trabalhos consistiam em estudos de hábitos de compras dos clientes, respostas à propaganda etc.

De acordo com Ellenrieder (1971), os estudos citados anteriormente seriam, na atualidade, considerados como estudos de Pesquisa Operacional, apesar dessa designação não ser utilizada naquela época. Dessa maneira, entende-se a Pesquisa Operacional como algo novo, nascido no início da Segunda Guerra Mundial e consolidada, organizada e sistematizada em um processo que continua até os dias atuais. Durante a Segunda Guerra Mundial, diante de problemas de natureza logística, tática, de estratégia militar e de alocação de recursos escassos, o comando militar inglês solicitou a diversos pesquisadores e cientistas a aplicação de uma abordagem científica para a solução desses problemas.

Segundo Medeiros (2000), as equipes de cientistas trabalharam em problemas como:

- a) Detecção de navios e submarinos pelo radar;
- b) Relação entre o peso de bombas e os sinistros;
- c) Ações aéreas anti-submarinas;
- d) Dimensionamento ótimo dos comboios;
- e) Lançamento aéreo de minas;
- f) Manobras de navios para evitar kamikazes;
- g) Precisão dos bombardeios;

Esses cientistas não fizeram mais do que aplicar o método científico, que já conheciam, aos problemas que lhes foram sendo colocados. Desenvolveram então a idéia de criar modelos matemáticos, apoiados em dados e fatos, que lhes permitissem perceber os problemas em estudo e simular e avaliar o resultado hipotético de estratégias ou decisões alternativas.

Os êxitos das equipes de pesquisa sobre operações influenciaram a expansão de seu método na Grã-Bretanha e, logo, no Canadá, na Austrália e nos Estados Unidos. A expansão da então

chamada Pesquisa Operacional abrangia não somente outros países, como também áreas fora da aplicação militar (ELLENRIEDER, 1971).

Esses grupos de cientistas e a sua nova metodologia de abordagem dos problemas se transferiram para as empresas que, após a guerra, se viram também confrontadas com problemas de decisão de grande complexidade. Suas técnicas passaram a ser aplicadas a problemas de gerenciamento de atividades produtivas, o que permitiu grande economia no uso dos meios de produção e popularizou o seu uso nessa área de conhecimento.

Ao longo dos anos, a teoria e as aplicações da PO se diversificaram, fazendo dela um campo em franca expansão, cujas aplicações abrangem indústria, comércio, serviços e setores governamentais. Especificamente, as áreas de expressiva importância estratégica que mais utilizam a pesquisa operacional são aquelas ligadas a energia, gestão industrial, gestão da qualidade, administração de operações, logística, finanças, *marketing*, planejamento e gestão de serviços, informação etc. além de inúmeras outras, civis e militares.

De acordo com Medeiros (2000), após a Segunda Guerra, a Pesquisa Operacional para Administração dirigiu-se a problemas como: programação da produção, controle de estoques, programação de vendas, problemas de transportes, manutenção e substituição de equipamentos, estudos de mercado, planejamento de atividades quaisquer e investimentos.

A partir da década de 50, foram criadas inúmeras associações ligadas à PO, como a “Operations Research Society of América”, fundada nos Estados Unidos em 1953, ou a Federação Internacional de Associações de Pesquisa Operacional, criada em 1957. Revistas técnicas começaram a surgir em vários países, assim como cursos e programas em pesquisa operacional.

Apesar dos resultados obtidos pela Pesquisa Operacional durante a Segunda Guerra Mundial terem sido muito importantes para o sucesso das operações no conflito, eles foram limitados pela complexidade dos cálculos envolvidos. Somente após a disponibilização de métodos computacionais, o potencial da PO foi mais bem aproveitado. Hoje em dia, o potencial da Pesquisa Operacional é tão grande, que costuma-se dizer que ela é “uma solução à procura de um problema” (SELLITTO, 2002). Dentre as técnicas de pesquisa operacional que mais se desenvolveram com o avanço dos métodos computacionais, está a modelagem e simulação que será detalhada a partir da próxima sub-seção.

### 2.3.2 Sistemas e Modelagem Computacional

Segundo Law e Kelton (1991), um sistema é um conjunto de entidades (pessoas, máquinas, etc.) que interagem a fim de atingir um objetivo. Um sistema pode ser analisado, basicamente, por duas formas, quais sejam: experimentação com o sistema real e a experimentação com modelos do sistema.

Na experimentação com o sistema real, os efeitos da mudança são analisados no próprio sistema, após a sua implementação. Esta alternativa geralmente apresenta riscos e custos elevados, podendo, ainda, estar sujeita a restrições físicas e temporais.

Na experimentação com modelos, estes representam uma simplificação da realidade, através do qual procura-se identificar e destacar elementos da realidade que sejam os mais importantes para a decisão a ser tomada. Tal experimentação apresenta, quando comparada com a experimentação da realidade, baixo custo, maior segurança e rapidez (LAW E KELTON, 1991), sendo que a abrangência da realidade no processo de modelagem é substituída pelo poder de análise e capacidade de experimentação.

Segundo Borba (1998), a modelagem de sistemas é uma abordagem fundamental para o melhor entendimento das complexas relações existentes em um processo produtivo. Trata-se da representação simplificada da realidade possibilitando a construção de um modelo significativo da mesma, minimizando as distorções de percepções.

A modelagem de um sistema pode ser de dois tipos: modelos físicos ou modelos matemáticos, sendo que os modelos matemáticos podem ser subdivididos em soluções analíticas e simulação. A figura 1 representa, esquematicamente os caminhos para se estudar um sistema:

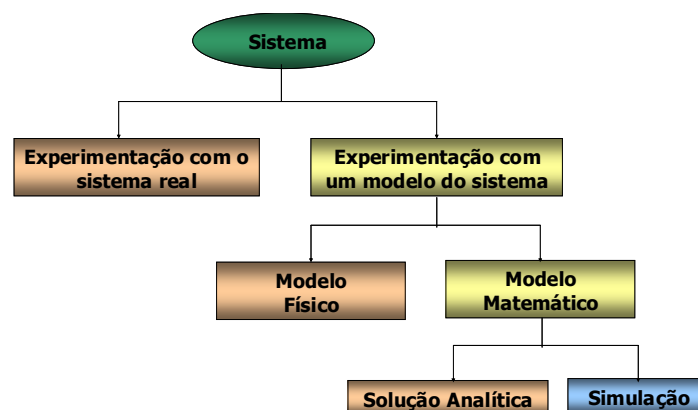


Figura 1: Maneiras de se estudar um sistema (Law e Kelton, 1991)

As soluções analíticas buscam um resultado ótimo para o sistema modelado, apresentam restrições quanto ao uso, diretamente relacionadas com a complexidade do sistema analisado. A técnica de simulação trata também de modelos estocásticos permitindo modelar sistemas com grande número de eventos e relações.

### 2.3.3 Conceito de Simulação Computacional

A simulação computacional, segundo Hollocks (1992) citado por Ripoll (1998), é uma técnica de pesquisa operacional que envolve a criação de um programa computacional para representar alguma parte do mundo real, de tal forma que os experimentos no modelo são como a antevisão do que acontecerá na realidade. Dessa forma, a simulação permite que se verifique o funcionamento de um sistema real em um ambiente virtual, gerando modelos que se comportam como aquele considerando a variabilidade do sistema e demonstrando o que acontecerá na realidade de forma dinâmica (CASSEL, 1996).

Segundo Pidd (1998), a simulação computacional consiste no uso de um modelo como base para exploração e experimentação da realidade. A base da simulação computacional, segundo o autor, está representada na figura 2.

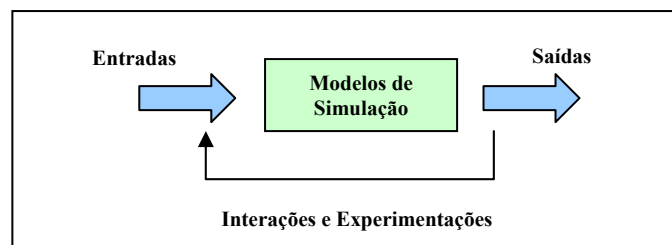


Figura 2: Base conceitual da simulação (Pidd, 1998, p. 226)

Verifica-se que, através da experimentação de um modelo desenvolvido em computador (modelo de simulação), buscam-se respostas (saídas do modelo) para variações nas políticas utilizadas (entradas conhecidas). É possível avaliar o que ‘aconteceria se....’ (what if...) determinada ação (interações e experimentação) fosse tomada no sistema real. Sendo assim, é possível observar o resultado da mudança de diversos parâmetros, permitindo a comparação de diversos cenários.

Na definição do conceito de simulação computacional verifica-se que os conceitos de sistema, modelo e de simulação estão intimamente relacionados. Na simulação computacional, o modelo representa o objeto de estudo (sistema real) enquanto que a simulação, um método de análise.

### **2.3.4 Vantagens e Desvantagens do Uso da Simulação Computacional**

Law e Kelton (1991) apresentam as seguintes vantagens para a utilização da modelagem e simulação computacional em estudo de sistemas:

- a) Sistemas complexos que contenham elementos estocásticos que não conseguem ser tratados adequadamente por técnicas analíticas podem ser, na maioria das vezes, estudados via simulação.
- b) Fornece um controle melhor sobre as condições experimentais do que seria possível na experimentação no sistema real;
- c) Interações e experimentação
- d) Modelos de Simulação
- e) Permite replicação precisa dos experimentos, podendo-se testar cenários para o sistema;
- f) Permite simular longos períodos em um tempo reduzido;
- g) Em geral, é mais econômico do que testar o sistema real.

Como desvantagens para a utilização de simulação computacional em estudo de sistemas, Law e Kelton (1991) apresentam:

- a) A simulação é dependente da validade do modelo desenvolvido. Se o modelo criado não representa fidedignamente o sistema ou se os dados de entrada não são confiáveis, de nada adianta fazer um estudo detalhado dos dados de saída e encontrar uma solução para o problema;
- b) A técnica da simulação não é por si só otimizante, testando somente as alternativas dadas pelo usuário.
- c) Um estudo de simulação pode se tornar demorado e consumir recursos elevados.

### **2.3.5 Aplicações da Modelagem e Simulação Computacional**

A utilização da modelagem e simulação computacional, durante muito tempo, foi restrita a um pequeno grupo devido a necessidades de grandes recursos computacionais e ao grande esforço de programação requerido. Porém, hoje em dia, os softwares de simulação rodam em microcomputadores e os programas vêm evoluindo se tornando cada vez mais “amigáveis”.

O uso da simulação vem crescendo em várias áreas do conhecimento. Segundo Pidd (1998), a simulação computacional figura entre as três ferramentas mais utilizadas pelos pesquisadores em ciências administrativas. A seguir tem-se alguns exemplos de aplicações, porém, cabe ressaltar que existem diversos outros exemplos que excedem aos aqui destacados.



- a. **Manufatura:** a utilização da simulação tem ocorrido em diversas aplicações. Exemplos de aplicação em manufatura podem ser encontrados em Pidd (1998), simulou uma planta de uma indústria alimentícia, Boblitz (1991), onde a empresa economizou U\$ 80.000 na aquisição de novas máquinas ao simular a substituição de suas células de manufaturas por uma linha de produção contínua verificando que elas não trariam um resultado positivo; Cassel (1996), na aplicação da simulação em fábrica de calçados; Williams e Sadakane (1997), citado por Ripoll (1998), no desenvolvimento de um modelo de simulação para o dimensionamento de equipe polivalente de manutenção, entre outros.
- b. **Armazenagem:** Lopes (1999), utiliza a simulação para avaliação da capacidade de fluxo e fontes de ganho no sistema de armazenagem automática de uma fábrica de pneus; Takakuwa *et al.* (2000), desenvolveram um modelo de simulação para armazéns não automatizados juntamente com um programa para geração de parâmetros.
- c. **Transporte/Logística:** utilização da ferramenta em operações de terminais de transbordo de uma empresa de transporte de carga identificando o número necessário de veículos extras para garantir a confiabilidade da rede de rotas; análise de nível de serviço e capacidade de atendimento de um posto de abastecimento de gás natural; Lacerda e Rodrigues (1998), aplicação da simulação em alocação de *containers* numa empresa de navegação; suporte no planejamento de capacidade de um terminal portuário em operações de suprimento de plataformas de exploração e produção de petróleo; Rodrigues e Saliby (1998), aplicação da simulação no dimensionamento de bases de distribuição de combustível; Braga (1999), redução de custos de transporte de cana do campo para usina melhorando o planejamento na utilização de caminhões, jornada de trabalho e manutenção de estoque.
- d. **Setor de Saúde:** aplicação na área pode ser encontrada em Fusco (1997), na busca de redução do tempo de espera dos pacientes que realizam exames no Hospital Albert Einstein; Borba (1998), análise de alternativas para uma situação específica no hospital para criação de um novo serviço.
- e. **Setor de Serviço:** Costa e Conde (1999), utilização da simulação na operação de chegada, triagem e saída de encomendas/malote no centro de operações postais de

Benfica nos Correios. Como resultado destaca-se o dimensionamento dos turnos e efetivo necessário, o planejamento dos horários para liberação da carga e identificação da capacidade produtiva da máquina de triagem; Mariono (1999), aplicação nos Correios objetivando agilizar melhorias em diversas áreas da empresa.

### **2.3.6 Classificação dos Modelos de Simulação**

Os modelos de simulação computacional são classificados de acordo com uma série de critérios segundo Law & Kelton (1991), Pidd (1998), Harrell (2002). Barrônio (2000) entre outros. Segue breve descrição das características de cada uma delas.

*Quanto à representação da realidade:* os modelos icônicos são modelos concebidos geralmente para fins de treinamento. Neste caso, aparentemente representam situações reais. Como exemplo têm-se os simuladores de vôo. Os modelos simbólicos são aqueles em que as características do sistema real são representadas matematicamente ou simbolicamente.

*Quanto aos recursos computacionais:* no modelo analógico as variáveis e os relacionamentos entre elementos dos sistemas são representados por entidades físicas. Como exemplo tem-se o túnel de vento em que o modelo é instrumentado e os dados são alimentados em um programa de simulação que avalia a resposta do modelo. O Modelo digital é caracterizado pelo aumento considerável do dinamismo e precisão, como exemplo tem-se a simulação completamente digital do comportamento de um corpo no fluido sem a utilização de uma entidade física. E o Modelo híbrido onde é necessário combinar recursos, mesclando modelo analógico com o modelo digital.

*Quanto ao tratamento dos dados:* nos modelos determinísticos os dados são considerados sem variabilidade estatística associada ao modelo. Já nos modelos estocásticos os efeitos da aleatoriedade dos dados são considerados no desenvolvimento do modelo.

*Quanto ao comportamento em relação ao tempo:* os modelos estáticos retornam uma resposta a um determinado conjunto de dados de entrada para um tempo específico não levando em consideração a continuidade da simulação. Nos modelos dinâmicos a simulação representa o desempenho do sistema ao longo do tempo, sendo possível acompanhar o comportamento do sistema em diferentes momentos.

*Quanto às mudanças de estado:* nos modelos discretos as mudanças do sistema ocorrem em intervalos definidos e específicos de tempo. Nos modelos contínuos o comportamento ininterrupto de mudanças de estado pode ser representado.

*Quanto ao interesse sobre os resultados:* modelos terminantes são aqueles em que o interesse recai sobre o comportamento dos sistemas em um tempo ou evento específico, ou após um período definido inicialmente. Modelos não-terminantes o interesse está em analisar a condição contínua de operação do modelo sem se ater a eventos ou momentos especiais.

*Quanto ao uso:* o modelo de uso unitário é concebido para representar uma situação específica. Após a decisão ser tomada, o modelo não tem mais utilidade. Nos modelos de uso continuado, a concepção está voltada para testar e validar hipóteses sobre o sistema e seu funcionamento continuamente, podendo ser utilizado enquanto o sistema real continue ser representado pelo modelo.

### ***2.3.7 Evolução dos Softwares de Simulação Computacional***

A utilização de simulação computacional por muito tempo esteve restrita a um grupo pequeno de usuários, basicamente grandes empresas da área de transporte, mineração e siderurgia. Tal fato decorreu principalmente do elevado custo de *hardware*, do grande esforço de programação requerido e das limitações de memória para armazenamento de dados. O desenvolvimento de linguagens específicas e a acessibilidade e incremento na capacidade de processamento computacional vêm aumentar o leque de possibilidades de utilização desta metodologia.

A simulação computacional apresenta uma evolução que está diretamente relacionada com a tecnologia de suporte (*hardware e software*) disponível no momento de seu desenvolvimento. A tabela 2 apresenta uma síntese da evolução dos sistemas de simulação de acordo com o desenvolvimento da tecnologia de suporte. Maiores detalhes em Lobão e Porto (1996).

| Classificação                 | Tecnologia Disponível   | Ferramentas   |
|-------------------------------|---|---|
| Tipo I<br>Até Década de 60    | Conhecimentos científicos, matemáticos, estatísticos e habilidades manuais. | Modelos matemáticos e físicos em escala reduzida.   |
| Tipo II<br>Décadas de 60 e 70 | Computadores de grande porte. Primeiros microcomputadores.                  | Linguagem genérica: Fortran, Pascal e C. Linguagens de simulação: GPSS, SLAM, SIMAN, etc. |
| Tipo III<br>Até Década de 80  | Microcomputadores.  | Pacotes de simulação: Witness, Arena, Promodel, etc.                                      |
| Tipo IV<br>Até Década de 90   | Estações de trabalho de alto desempenho e grande capacidade de memória.     | Simuladores de interface gráfica, interativos e inteligentes.                             |

Tabela 2: Evolução dos sistemas de simulação (Adaptado de Lobão e Porto, 1996).

A escolha de um programa de simulação, entre os *softwares* de linguagem genérica, linguagem de simulação ou de pacotes comerciais, está diretamente relacionada com o *trade-off* entre flexibilidade e especialização do usuário. Rodrigues (1994) apresenta este *trade-off* segundo as diversas categorias de pacotes passíveis de utilização para fins de modelagem computacional de um sistema, como mostra a figura 3.

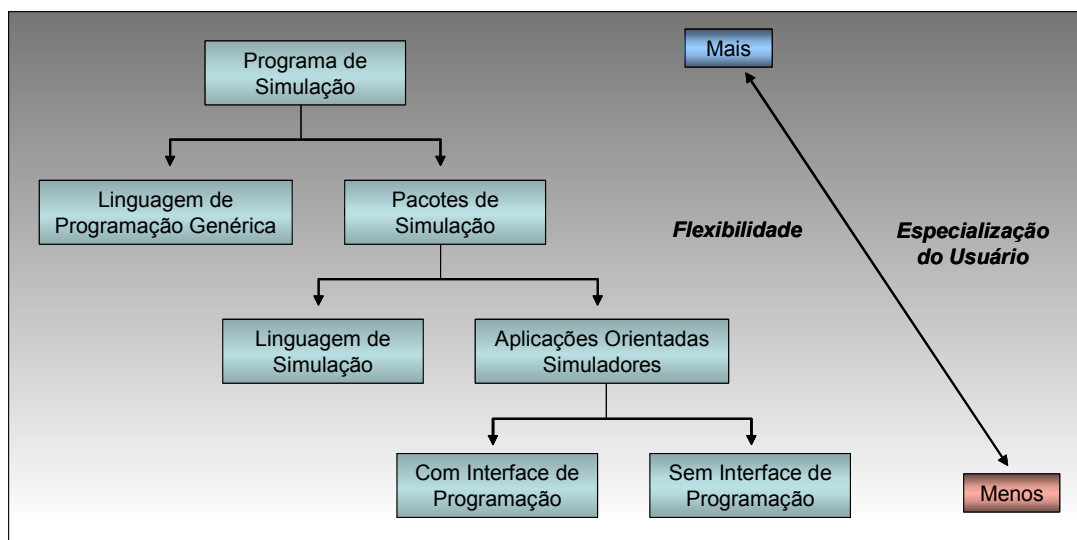


Figura 3: Trade-off entre flexibilidade de modelagem e especialização do usuário na ferramenta (Rodrigues, 1994).

Observa-se nas últimas décadas um avanço nos chamados ambientes de simulação. As tradicionais linguagens de simulação exigiam muita experiência e dedicação do usuário, esses novos ambientes são amigáveis, consistentes em termos estatísticos e possuem interfaces gráficas que permitem visualizações das simulações.

Os *softwares* mais conhecidos na área de modelagem e simulação computacional são: Witness, Arena, Automod, Micro Saint, e Promodel. Especificamente para este trabalho foi

utilizada a ferramenta computacional Witness para “rodar” os modelos simulados do estudo de caso proposto.

Rememorando o Capítulo 2 – Referencial Bibliográfico, viu-se que o presente trabalho está lastreado em três pilares de bases científicas: a Logística, a Tomada de Decisões Complexas e a Modelagem e Simulação Computacional. Porém, é justamente no inter-relacionamento entre os temas que se posiciona a questão de pesquisa de buscar “Quais as potencialidades e vantagens geradas pela utilização da modelagem e simulação computacional como uma ferramenta de auxílio nas tomadas de decisões complexas em operações logísticas de unidades industriais?”.

No capítulo seguinte será mostrado o método de trabalho que propiciou a consecução do objeto dessa pesquisa.

### 3 MÉTODO DE TRABALHO

Neste capítulo é descrito o método de trabalho adotado para a realização desta dissertação. O método de trabalho, conforme Lakatos e Marconi (1991), é um conjunto de atividades sistemáticas e racionais que orientam a geração de conhecimentos válidos e verdadeiros, que indicam o caminho a ser seguido.

#### 3.1 Classificação do Estudo

Tendo em vista seus propósitos e características, descritos nos capítulos anteriores, a pesquisa em tela possui um caráter predominantemente quantitativo. Considerando, ainda, o fato de se investigar uma única realidade, qual seja a de um processo logístico de carregamento de produtos em uma planta industrial petroquímica, a pesquisa enquadra-se, também, na categoria de estudo de caso.

Segundo Yin (1981) o estudo de caso constitui-se em uma abordagem de pesquisa que privilegia a compreensão das dinâmicas e relações próprias de cenários específicos, combinando diversos instrumentos de coleta de dados como documentos, entrevistas, questionários e observações, podendo ser usado para vários objetivos, tais como fornecer descrição, testar teorias ou gerar teorias.

#### 3.2 Instrumentos de Coleta de Dados

Existem, fundamentalmente, três formas de obter dados acerca de determinado fenômeno: *observando-o*, *fazendo perguntas* às pessoas direta ou indiretamente envolvidas e *examinando elementos documentais* escritos. A cada um destes procedimentos corresponde uma categoria de técnicas de pesquisa: a observação, a entrevista e a análise documental. Uma pesquisa científica pode valer-se de apenas uma ou da combinação destas três técnicas. Além disso, acrescentam os autores, cada uma das técnicas pode ser empregada, em vista dos propósitos almejados, com maior ou menor profundidade.

Neste estudo, as três técnicas de coleta de dados foram utilizadas. Não obstante, o estudo baseia-se em dados referentes a tempos de execução das atividades em estudo (dados secundários). Ainda em fases preliminares, procedeu-se a realização de entrevistas com

peças envolvidas, e a observação do processo em estudo para maior compreensão do sistema real<sup>6</sup>.

### 3.3 Método para Desenvolvimento do Projeto de Simulação Computacional

Em linhas gerais, um projeto de simulação passa por conjuntos de etapas explicitadas na Figura 4.

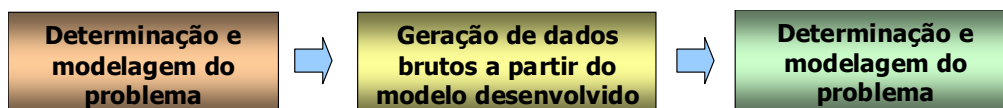


Figura 4 – Etapas Básicas de um Projeto de Simulação (elaborada pelo autor).

No entanto, para cumprir os objetivos desse estudo, faz-se necessário um detalhamento explicativo dessas macro etapas. O método de desenvolvimento do projeto de simulação computacional utilizado nesta dissertação está baseado em grande parte na metodologia desenvolvida por Law & Kelton (1991). Esse método foi escolhido porque seus passos foram avaliados, pelo autor, como mais eficientes. Apesar disso, outros autores foram consultados para um maior esclarecimento de cada passo.

Os passos (enumerados a seguir) foram os norteadores das simulações realizadas nesse trabalho, conforme pode-se ver no fluxograma da figura 5.

1. Formulação do problema e planejamento do estudo
2. Coleta de dados e definição do modelo
3. Validação do modelo conceitual
4. Construção do programa computacional e verificação
5. Realização de execuções piloto
6. Verificação e validação do modelo programado
7. Planejamento dos experimentos
8. Realização das execuções de simulação - Experimentação
9. Análise de resultados
10. Documentação e implementação

---

6. Sistema real: normalmente referido ao objeto em estudo, representa uma coleção de entidades que agem e interagem de forma conjunta, seguindo alguma lógica pré-determinada

As fases compostas de duas atividades estão assim dispostas para representar tarefas que podem ser realizadas ao mesmo tempo.

Cabe destacar que, na metodologia de Law & Kelton (1991), existe uma diferença entre as figuras do analista e do tomador de decisões. O primeiro é o ator que constrói o modelo de simulação e o segundo é aquele que irá analisar a simulação e tomar as decisões cabíveis. Ressalta-se que essas duas atribuições podem ser somente de uma pessoa, ou seja, o analista ser também tomador de decisões.

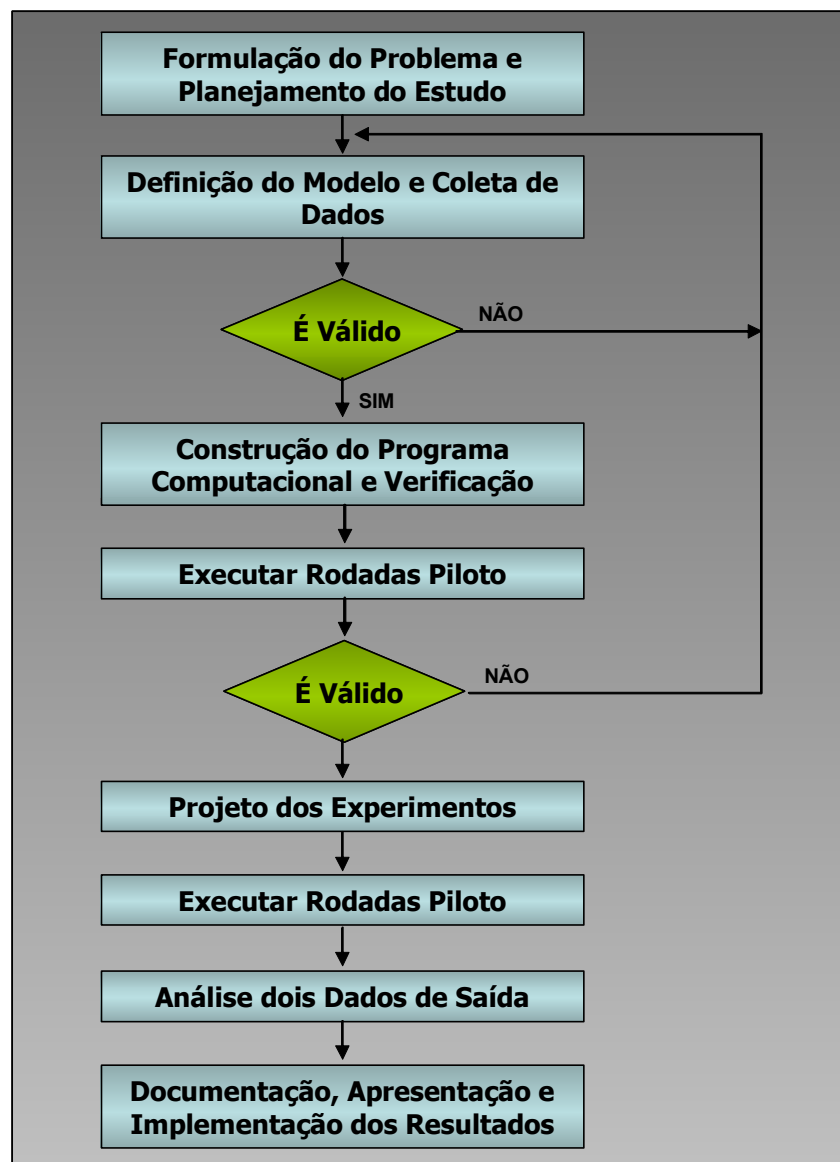


Figura 5: Passos de um estudo de simulação (Law & Kelton 1991)

Apesar de considerar que o fluxograma da Figura 5 é auto-explicativo, cada uma das etapas referenciadas serão explicadas detalhadamente a partir da sub-seção 3.3.1 até a sub-seção 3.3.10.



**Cabe ressaltar que a metodologia de Law & Kelton (1991), escolhida para nortear o projeto de simulação estudado neste trabalho de dissertação será explicada de forma genérica nas sub-seções seguintes (3.3.1 a 3.3.10) e as realizações práticas de cada etapa serão referenciadas no Capítulo 4 – Estudo de Caso. Dessa maneira o autor entende que a apresentação do trabalho torna-se mais aprazível e didática.**

### ***3.3.1 Formulação do Problema e Planejamento do Estudo***

O início de experimento de simulação computacional deve ser com a formulação do problema e com o planejamento do estudo. Isto porque a obtenção de uma solução aceitável depende de um bom conhecimento do problema e da criação de um plano para sua avaliação. Nessa etapa deve-se assegurar de que o problema descrito esteja claramente entendido. Também nesse caso é importante que os tomadores de decisão entendam e concordem com a formulação do problema feita pelo analista. O ideal é que em todos os passos, principalmente nesse primeiro, analista e tomador de decisão trabalhem juntos, para uma maior eficiência e eficácia da simulação. A interação entre aquelas pessoas, que lidam com o sistema a ser simulado, sejam elas, administradores, trabalhadores, etc. (a partir daqui chamados apenas de gerentes ou tomadores de decisão) e os analistas de simulação (ou apenas analistas), é fundamental para o sucesso do processo de simulação.

Nessa etapa de formulação do problema deve-se determinar pontos importantes como: objetivos do estudo, questões a serem respondidas, estágios da investigação, escopo do modelo, configurações do sistema a ser modelado (limites, restrições, entidades, processos etc.), equipamento e programa de simulação a serem utilizados, estrutura de tempo para o estudo e recursos requeridos.

Muitas vezes, o problema é reformulado à medida que se realiza o estudo, isto ocorre devido a um maior entendimento do sistema. Naylor (1971) ressaltava a importância do estabelecimento explícito dos objetivos da simulação e declara que objetivos têm habitualmente a forma de: (a) questões a serem respondidas, (b) hipóteses a serem testadas ou (c) efeitos a serem estimados.

O planejamento do estudo deve conter uma declaração de sistemas alternativos (ou partes deles) a serem considerados e o método de avaliação da eficiência desses sistemas. Além disso, deve conter informações como número de pessoas envolvidas, custo do estudo e tempo

requerido para completar cada fase do trabalho, assim como os resultados esperados de cada fase.

### **3.3.2 Coleta de Dados e Definição do Modelo**

Nesta fase, o sistema real sob investigação é abstraído através de um modelo conceitual e, ao mesmo tempo, dados do sistema são coletados. Segundo Shannon (1975), a coleta refere-se a dados quantitativos e qualitativos sobre as entradas e saídas do sistema, bem como informações sobre os componentes do sistema e suas interconexões ou relações. O modelador (analista) deve decidir que dados são necessários, se eles são pertinentes, se os dados existentes são válidos a este propósito e como eles foram obtidos e validados. Esta etapa também envolve a escolha entre a utilização de dados empíricos diretamente no modelo ou o uso de distribuições de probabilidade teóricas.

A fase de definição do modelo é uma das mais cruciais para a simulação. Alguns autores, como Banks et al. (1996), dizem que a construção do modelo é mais uma arte do que ciência. Esse autor declara que a arte da modelagem consiste de uma habilidade para abstrair as características essenciais do modelo, da seleção e modificação de suposições básicas que caracterizam o sistema, e então do enriquecimento e elaboração do modelo até uma aproximação útil dos resultados. Pode-se usar qualquer dispositivo conveniente e útil para construir um modelo, mas como o objetivo desse estudo é a utilização dos modelos de simulação, as ferramentas ficam circunscritas à utilização de equações matemáticas em programas de computador que simulam o comportamento do sistema.

De acordo com Naylor (1971), a formulação do modelo consiste na especificação de seus componentes, variáveis, parâmetros e relações funcionais. Desse modo, é melhor utilizar-se, inicialmente, de um modelo simples, para depois aumentar sua complexidade progressivamente. A complexidade do modelo não deve exceder a necessidade de abstração demandada pelos objetivos do estudo. A violação desse princípio apenas acrescentará esforço computacional e de construção do modelo. Não há necessidade de um completo mapeamento entre modelo e sistema real; apenas a modelagem da essência do sistema real é necessária.

Shannon (1975) sugere alguns atributos para se saber se um modelo de simulação é realmente válido. Segundo ele, um modelo deve:

- a. ser simples de entender pelo usuário;
- b. ter objetivos e propósitos direcionados;

- c. ser robusto, isto é, não deve dar respostas incoerentes;
- d. ser simples de ser controlado e manipulado pelo usuário;
- e. ser completo em questões importantes;
- f. ser adaptativo, com um procedimento simples para modificação e atualização do modelo;
- g. ser evolucionário, isto é, ele deve iniciar-se simples e tornar-se gradativamente mais complexo, com a ajuda do usuário.

Sendo assim, a fase de coleta de dados consiste dos seguintes pontos:

- a. Coleta de informações no arranjo físico do sistema e nos procedimentos de operação (as informações também serão utilizadas na validação do modelo no passo 6, conforme item 3.3);
- b. Coleta de dados (se possível) para especificar os parâmetros do modelo e as distribuições de probabilidade das entradas;
- c. Delineamento das informações e dados do item anterior em um “documento de suposições”, que é o modelo conceitual;
- d. Determinação do nível de detalhe do modelo. Esse nível pode estar sujeito aos seguintes itens:
  - i. Objetivos do projeto de simulação;
  - ii. Medidas de desempenho;
  - iii. Disponibilidade de dados;
  - iv. Credibilidade;
  - v. Restrições computacionais;
  - vi. Opiniões das pessoas ligadas ao sistema;
  - vii. Restrições de tempo e capital.
- e. Não é necessário que haja uma correspondência um-para-um entre cada elemento do modelo e o elemento correspondente do sistema;
- f. Interação regular com o tomador de decisão.

### **3.3.3 Validação do Modelo Conceitual**

Percorrer de maneira estruturada o modelo conceitual para garantir que as suposições, definições, coleta de dados referentes ao modelo e abordadas na sub-seção 3.6.2 estão corretas e completas, promovendo assim o seu domínio.

A atividade de validação do modelo conceitual é feita antes da programação começar para evitar reprogramações significativas mais adiante. Na realidade essa atividade configura-se mais como um “marco” entre a definição do modelo conceitual e a construção do modelo computacional.

#### **3.3.4 Construção do Programa Computacional e Verificação**

Este passo é dividido em duas atividades:

- a) Programação do modelo em uma ferramenta de simulação;
- b) Verificação (eliminação de erros) do programa de simulação computacional.

Sistemas reais resultam em modelos que requerem um grande esforço de manipulação de informações, por isso o modelo deve ser concretizado em um formato computacional reconhecível. Nessa etapa, o modelador deve decidir se programa o modelo numa linguagem de propósito geral (como FORTRAN ou C), numa linguagem de simulação (como GPSS/H, SIMAN V, SIMSCRIPT II.5) ou usa um pacote de simulação (como Witness, Extend, Stella, AutoMod, ProModel, Arena etc).

O segundo passo desta etapa consiste na verificação do programa computacional. Aqui, verifica-se se o programa é adequado para o modelo e se ele funciona adequadamente. Em se tratando de sistemas complexos, é muito difícil traduzir o modelo em um programa sem um grande dispêndio de tempo, principalmente para a correção dos erros de execução do programa.

#### **3.3.5 Realização de Execuções Piloto**

Esta etapa consiste na realização de execuções piloto para a validação proposta no item 3.3.6. Neste momento, cabe o esclarecimento de alguns termos aqui utilizados e que continuarão sendo empregados nas próximas sub-seções ou seções deste trabalho.

O termo “execuções” (ou replicações) refere-se à realização de uma simulação (execução do programa) com os mesmos parâmetros (distribuição de probabilidade de entrada, número de servidores, tamanho máximo da fila etc.). Já a palavra “simulação” será utilizada para designar as execuções do programa usando diferentes parâmetros; uma simulação é composta de diversas execuções. As expressões “estudo de simulação” ou “projeto de simulação” referem-se a todos os passos referentes a um processo de simulação, conforme mostrado na Figura 5.

As execuções são necessárias para que se tenha resultados mais confiáveis para o modelo, pois, em se tratando de variáveis aleatórias, cada execução produzirá respostas diferentes, o que significará maior proximidade de uma situação real.

### **3.3.6 Validação do Modelo Programado**

Validação é a conclusão de que o modelo é uma representação confiável do sistema real. A validação é geralmente conseguida através da calibração do modelo, consistindo de um processo iterativo de comparação entre o modelo e o comportamento real do sistema, bem como do uso de discrepâncias entre os dois e das idéias obtidas para melhorar o modelo. Esse processo é repetido até que a confiabilidade do modelo seja julgada aceitável (BANKS et al.,1996).

Usam-se alguns caminhos para testar a validade e credibilidade do modelo, dentre os quais pode-se :

- a) Coleta de informações e dados de alta qualidade no sistema real;
- b) Comunicação com especialistas no sistema real;
- c) Observações do modelo versus o sistema real ;
- d) Resultados relevantes de estudos de simulação similares;
- e) Experiência e intuição dos modeladores;
- f) Interação constante entre gerente e analista;
- g) Manutenção de documentação sobre suposições e desempenho;
- h) Comparação das saídas do modelo e do sistema real;
- i) Análise de especialistas;
- j) Animação virtual do modelo.

Os métodos de validação devem seguir os preceitos abaixo:

- a) Se há um sistema real, comparam-se as medidas de desempenho e os resultados do modelo e do sistema real;
- b) Independente de haver ou não um sistema real, os analistas de simulação ou as pessoas ligadas ao sistema devem revisar os resultados do modelo para correções;
- c) Utilização de análise de sensibilidade para determinar quais fatores do modelo têm um impacto significativo nas medidas de desempenho e, então, modelá-los com cuidado.

### **3.3.7 Projeto dos Experimentos**

Nesta etapa, são determinados os seguintes itens:

- a) Duração das simulações, ou seja, determina-se qual o período de tempo simulado;
- b) Número de simulações e suas configurações – são definidos quantas alternativas a situação real serão feitas, bem como as possíveis combinações entre elas. No entanto essas definições podem sofrer incrementos consideráveis, pois o desenvolvimento dos modelos de simulação projetados nessa fase podem, e é comum que aconteça, sugerir a construção de outras variações que não haviam sido projetadas;

### **3.3.8 Realização das Execuções de Simulação**

Várias simulações e execuções são realizadas para que os resultados e medidas de desempenho sejam empregados na seção 3.3.9.

### **3.3.9 Análise de Resultados**

Os dois maiores objetivos na análise dos dados de saída são:

- a) Determinação do desempenho absoluto de certas configurações do sistema;
- b) Comparação de configurações alternativas do sistema em termos relativos.

Procedimentos estatísticos podem ser empregados para se comparar os dados de saída do modelo e do sistema, Porém, no trabalho em questão foram utilizados os resultados oriundos da ferramenta de simulação utilizada, aliado ao método desenvolvido para o cálculo do índice de contra fluxo, conforme será explicado na seção 3.7. Entre diversas abordagens para análise de resultado, pode-se citar:

- a) Testes estatísticos clássicos (como t, qui-quadrado, Kolmogorov-Smirnov etc.) para determinar se dois conjuntos de dados podem ser considerados semelhantes;
- b) Abordagem por inspeção: aqui podem ser utilizadas estatísticas como média, variância simples, função de correlação e histogramas.
- c) Abordagem de intervalo de confiança baseado em dados independentes.
- d) Abordagem de séries temporais.

### **3.3.10 Documentação e Implementação**

Nenhum projeto de simulação pode ser considerado completo se não foi aceito, compreendido e usado. Uma documentação adequada serve para auxiliar o entendimento do estudo realizado

e para dar credibilidade aos resultados do processo. Além disso, ela facilita as modificações e proporciona ao analista o conhecimento de seus erros e um conjunto de subprogramas que pode ser reutilizado em projetos futuros. Uma cuidadosa e completa documentação de todas as fases do projeto também auxilia muito o estágio de implementação.

Do mesmo modo, a etapa de Documentação e Implementação possibilita:

- a) a utilização do mesmo programa, ou de parte dele, pelo mesmo analista ou por outros;
- b) a mudança de parâmetros do modelo pelos usuários;
- c) a diminuição dos esforços para determinação de relacionamentos, parâmetros de entrada e medidas de desempenho;
- d) a cronologia do trabalho realizado e das decisões tomadas.

Há dois tipos de documentação em um estudo de simulação: do programa e do desenvolvimento da simulação (relatórios parciais e final). Relatórios parciais devem ser freqüentes (pelo menos mensais) durante o desenvolvimento do estudo de simulação e devem prover um registro compreensivo das realizações, mudanças e decisões chave do processo.

Outra forma de documentação é o relatório final. Esse deve ser composto de especificações do modelo, demonstrações da evolução da construção do modelo, análises intermediárias, configurações alternativas do sistema, critérios de comparação de alternativas, resultados de treinamentos, animações, documentação do programa, resumo dos relatórios parciais de progresso e a(s) solução(ões) final(is) do problema.

Os relatórios citados acima ajudam a dar confiabilidade ao estudo e ao modelo frente aos gerentes, assim como permite aos envolvidos uma maior compreensão do sistema estudado.

O sucesso da fase de implementação depende do bom desenvolvimento de todas as fases anteriores. Esta etapa é favorecida no caso de analistas e gerentes trabalharem juntos, durante todo o estudo, já que o tempo necessário para persuadir o gerente dos benefícios do projeto é menor e sua motivação e comprometimento com o estudo são estimulados.

Pode-se resumir essa fase nos seguintes itens:

- a) Documentação das suposições, do programa de simulação e dos resultados do estudo para uso em projetos atuais e futuros;
- b) Resultados do estudo atual.

- i. Uso de animação para difundir o modelo entre os tomadores de decisão e outras pessoas que não estão familiarizadas com todos os detalhes do modelo.
  - ii. Discussão da construção do modelo e do processo de validação para promover sua credibilidade.
- c) Os resultados são usados no processo de tomada de decisão caso eles sejam válidos e tenham credibilidade.

Apesar dos passos de simulação parecerem seqüenciais, a simulação não é um simples processo seqüencial. Há, muitas vezes, a necessidade de se refazer passos anteriores (esse fato é indicado na figura 5 através das setas retroativas).

### 3.4 Metodologia Aplicada para a Análise Técnica das Simulações

#### Propostas

Para a análise técnica das simulações propostas foi estabelecido o ICF (Índice de Contra Fluxo). Este índice tem como objetivo principal retratar o contra fluxo das carretas, devido, principalmente, à utilização de apenas um ponto de pesagem localizado próximo ao almoxarifado AX-PETRO.

O ICF é dado pela fórmula:

$$ICF = \frac{P_P + P_Q}{P_{VI}}$$

onde:

- a)  $P_P$  é o valor real das passagens dos caminhões na área de carregamento contínuo (“ponto A” - figura 6);
- b)  $P_Q$  é o valor real das passagens dos caminhões na área de carregamento semi-contínuo (“ponto B” - figura 6);
- c)  $P_{VI}$  é o somatório do valor ideal de passagens dos caminhões nas áreas de carregamento contínuo e semi-contínuo;



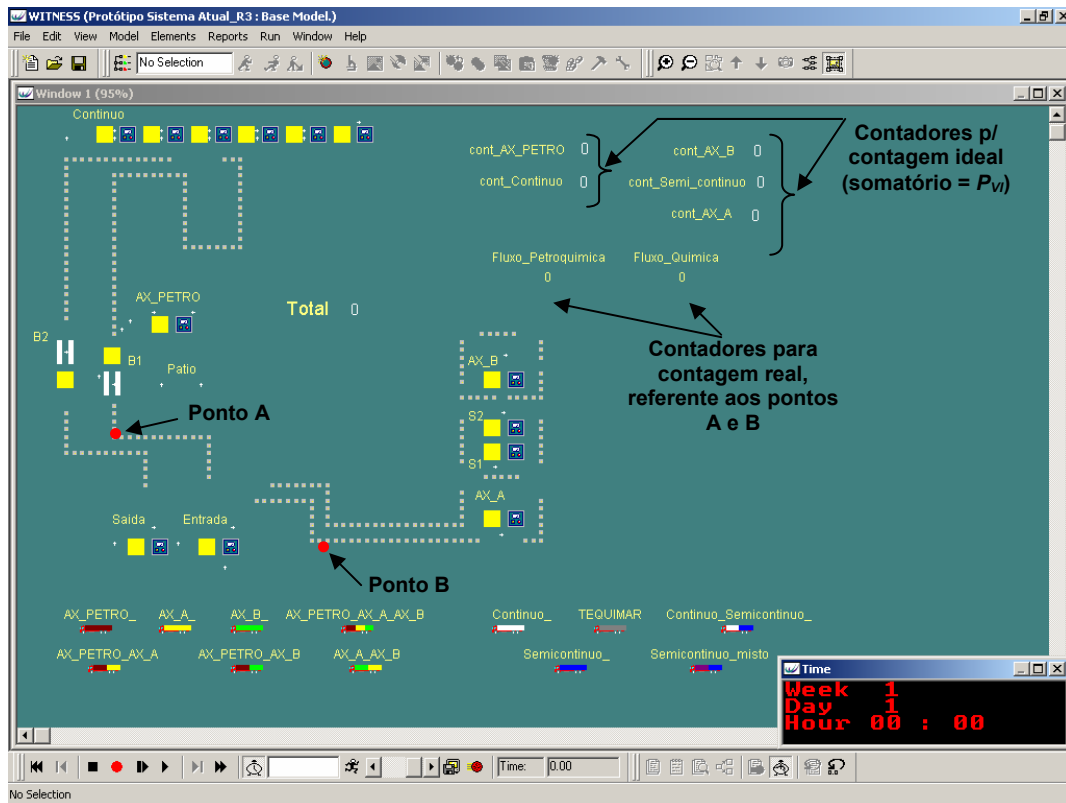


Figura 6: Definição dos pontos (A e B) de controle de passagem de caminhões. (Elaborada pelo Autor)

Na figura 6 pode-se observar que foram determinados dois pontos (“A” e “B”) para a contagem das passagens dos caminhões, respectivamente nas entradas das áreas de carregamento contínuo e semi-contínuo. O *software* Witness foi modelado de forma a contabilizar cada passagem de carreta por estes pontos pré-determinados. E, além disso, foram modelados contadores em cada local específico de carregamento (contínuo, AX-PETRO, semi-contínuo, AX-A e AX-B) para se contabilizar o número ideal de passagens de caminhões. Para melhor exemplificar a função destes contadores e o cálculo do ICF, segue abaixo uma situação:

- Uma carreta que entre na planta da ABC para efetuar o carregamento no armazém AX-A, na situação atual (real), deverá passar duas vezes pelo ponto A e uma vez pelo ponto B, totalizando três passagens ( $P_P + P_Q = 3$ ). O ideal é que a carreta passe apenas uma vez pelo ponto A e uma vez pelo ponto B ( $P_{VI} = 2$ ), logo o valor do ICF = 1,5.

O ideal é que o ICF tenha o valor igual a 1,0, ou seja, as carretas deveriam passar somente uma vez pelo ponto de contagem. A partir desse método foi determinado o ICF para o cenário atual (real), bem como para todos os outros cenários propostos como alternativas de melhoria e esses resultados estão apresentados no Capítulo 5, sub-seção 5.1.2.

### 3.5 Software de Simulação Computacional Utilizado

Para os fins do presente estudo, foi escolhido *software* de simulação computacional denominado Witness. A escolha deste *software* deve-se principalmente: a sua disponibilidade e à familiarização da ferramenta por parte do autor. Dentre as vantagens apresentadas destacam-se:

- a) o construtor de lógica - módulo do programa específico para construção de lógicas. Apresenta comandos específicos e a descrição da sua sintaxe o que permite a construção das lógicas quase que inteiramente através do *mouse*.
- b) o rastreamento - permite que toda a sucessão de eventos seja visualizada e analisada;
- c) a sua interface gráfica - apresenta biblioteca gráfica que agiliza a construção do modelo. A representação gráfica é importante para visualização do modelo;
- d) a flexibilidade de modelagem - que amplia as opções para o desenvolvimento da modelagem; e
- e) a importação e exportação de arquivos de planilhas eletrônicas - que permite maior agilidade na modelagem e na alimentação dos modelos desenvolvidos.

#### 3.5.1 Pacote de Simulação Witness

O Witness é um pacote de simulação, desenvolvido pela empresa Lanner (Estados Unidos), baseado na metodologia das Dinâmicas de Sistemas<sup>7</sup> (*SD - System Dynamics*).

O Witness é um dos principais *softwares* de modelagem e simulação computacional do mundo e, além dos motivos já citados para a sua utilização nesse trabalho, cabe destacar outros dois importantes motivos, a saber: orientação à metodologia de Dinâmica de Sistemas e extensa utilização em diversos problemas acadêmicos e empresariais, como por exemplo a modelagem e simulação de todas as operações de construção, montagem e transporte do maior avião de passageiros do mundo, o A-380 da Airbus. Nesse trabalho de dissertação utilizou-se a versão 2001 para Microsoft Windows® TM.

---

7. Segundo Forrester (1961) citado por Gavira (2003), a SD permite a representação, ao longo de grandes períodos de tempo, de sistemas que possuem inter-relacionamentos complexos e processos não-lineares. Essas características são particulares à relação entre as ações humanas e o seu ambiente sócio-econômico, físico e biológico.

### 3.5.2 Área de Trabalho, Menus e Barras de Ações

A área de trabalho inicial do Witness é o arquivo WITNESS (Startup: Base Model), conforme mostrado na figura 7. Trata-se de um arquivo em branco dispendo de todas as funcionalidades possíveis para a inicialização da construção de um modelo de simulação.

Na área de trabalho mostrada na figura 7 pode-se observar o campo Window 1 onde será construído o modelo, a janela *Designer Elements* onde encontram-se dispostos todos os elementos básicos necessários para se construir um modelo de simulação, além das barras de ações. Cabe ressaltar que para iniciar a construção de um modelo basta clicar em algum dos elementos da janela *Designer Elements* e arrastar para a área Window 1. Repetir essa ação para todos os elementos necessários para o modelo e em seguida inserir a lógica de simulação, ou seja, as inter-relações entre os elementos.

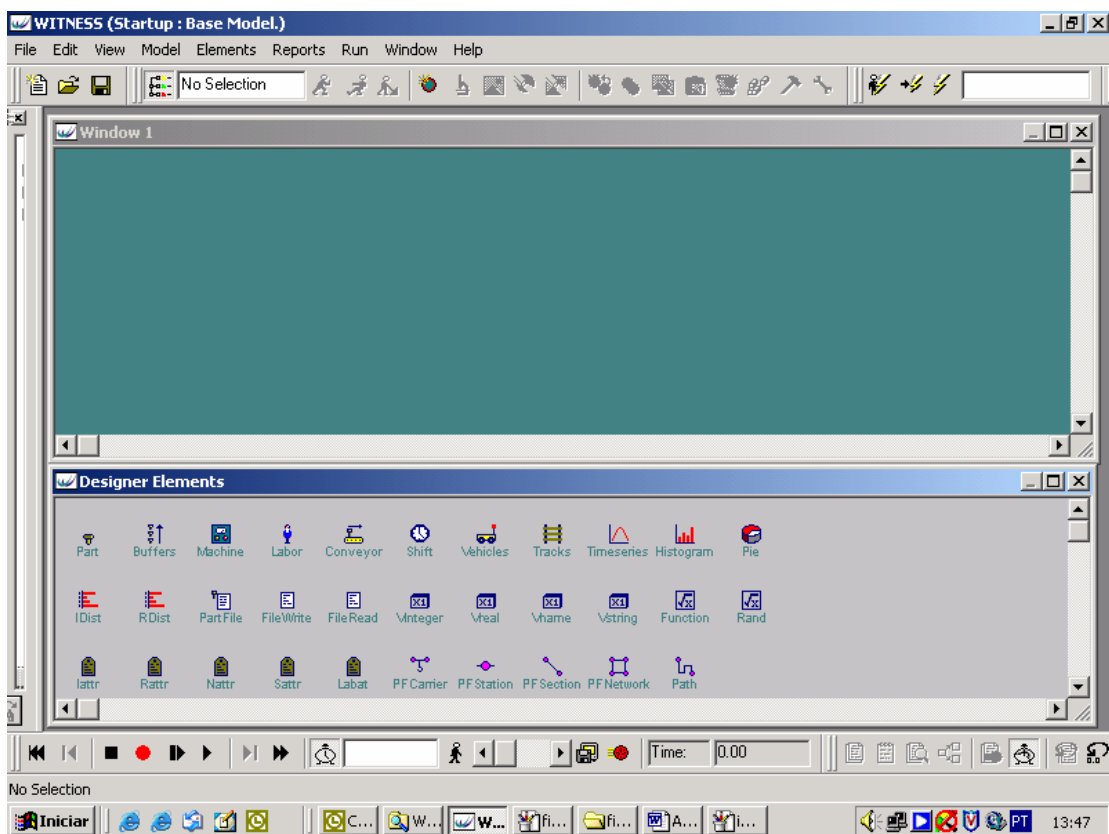


Figura 7: Arquivo WITNESS (Startup: Base Model) – Arquivo padrão para iniciação no Software Witness  
(Retirado do Software Witness)

O Witness usa menus *Drop-Down*, onde cada linha é um comando. Sete diferentes menus estão disponíveis: *File*, *Edit*, *View*, *Model*, *Reports*, *Run* e *Help*. São menus de abertura de arquivos, edição, visualização, modelagem, relatórios, funcionalidades para funcionamento da simulação e ajuda, conforme mostrado na figura 8.

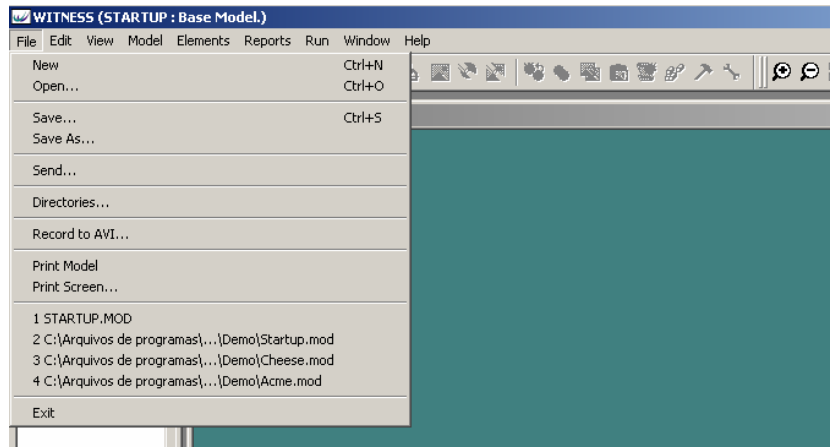


Figura 8: Exemplificação dos menus do Witness. (Retirada do Software Witness).

As Barras de Ações (*Action Bars*) ajudam a construir rapidamente os modelos do Witness. Existem cinco Barras de Ações, cada uma delas pode ser ligada ou desligada independentemente. Três delas, *Standard*, *Advanced* e *Execute*, mostradas nas figuras 9A, 9B e 9C, contém ícones que representam comandos freqüentemente usados como: abrir e salvar arquivos, empurrar e puxar eventos, criar, modificar e apagar elementos e lógicas, gerar relatórios diversos e “rodar” a simulação com comandos semelhantes ao de um aparelho de som. A quarta Barra de Ação, o *Prompting*, mostra uma descrição das ferramentas e das opções de menu que se pode utilizar. A quinta Barra de Ação, a *Selector*, permite listar os comandos do Witness, como regras e elementos, além da definição destes.



Figura 9A: Standard Bar (retirada do software Witness)

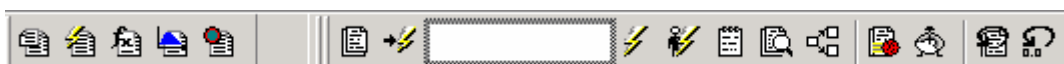


Figura 9B: Advanced Bar (retirada do software Witness)



Figura 9C: Execute Bar (retirada do software Witness)

O Witness usa as janelas de diálogo do Microsoft Windows® TM. Estas janelas são a forma de requisitar ou mostrar informações de todos os elementos do modelo. Elas devem conter uma série de tabelas sobrepostas. Cada tabela quando selecionada apresenta uma folha de propriedade conforme mostrado na figura 10. Essas tabelas servem para parametrizar os elementos do modelo, especificando o nome, tipo, quantidade, capacidade, tempo de ciclo, quebras, padrões de turnos, ações e lógicas de programações especiais e notas de observação.

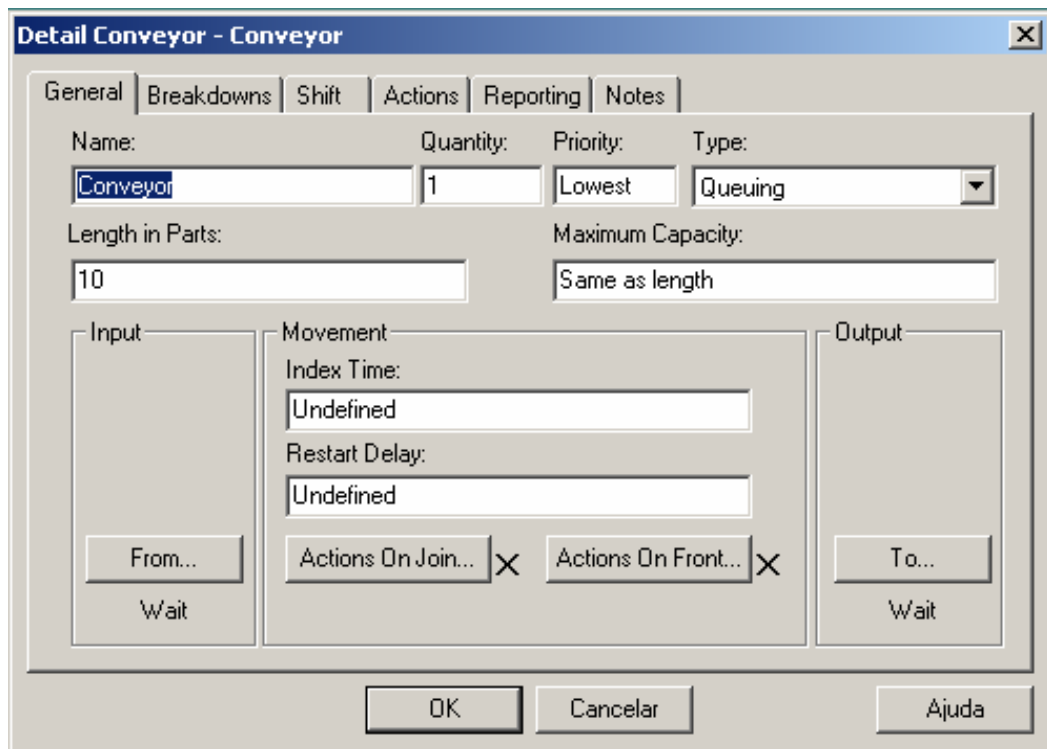


Figura 10: Janela de Diálogo do Witness. (Retirado do Software Witness)

Além da elaboração do modelo no Witness, através da disposição de todos os elementos do sistema, há uma real necessidade em se fazer as inter-relações entre esses elementos de maneira a possibilitar a criação da dinâmica do sistema. Essa ação é realizada através do editor do Witness conforme mostrado na figura 11. Esse editor tem a função de inserir, nos elementos dispostos no modelo, toda a lógica de programação necessária.

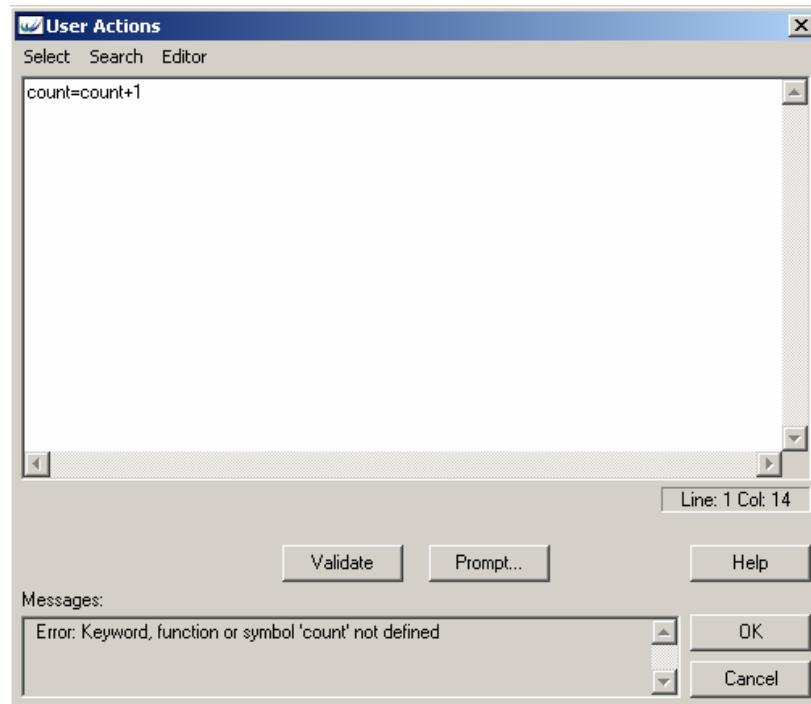


Figura 11: Editor do Witness. (Retirada do Software Witness)

### 3.5.3 Elementos Básicos

Modelos são construídos com uma série de elementos ou blocos de construção. Tudo o que se usar no Witness é um elemento: uma máquina, um atributo, um histograma, etc. Esta seção descreve os elementos básicos do Witness, focando nos três principais, a saber: *Parts (Entities)*, *Buffers* e *Machines*.

As *Parts (Entities)* são usadas para representar todos os itens discretos que movem-se ao redor do modelo. Eles podem ser usados para representar pequenos componentes eletrônicos, grandes transportadores de óleo, chamadas em um tronco telefônico e outros tipos de fluxo de informação. *Parts (entities)* podem ser manipuladas uma a uma; combinadas em uma só, uma pode ser separada em muitas; ou um grupo pode ser acumulado em uma. Podem ainda mudar para outras *Parts (entities)* como uma mudança de estado.

Nos modelos de simulação realizados para este trabalho, as *Parts (Entities)* são os caminhões e seus respectivos roteiros de carregamento.

Os *Buffers* são elementos para armazenamento de *Parts (entities)*. Segue alguns exemplos de uso de *Buffers*:

- a) Um chão de fábrica mantendo *parts* esperando sua próxima operação;
- b) Um *rack* guardando placas de circuito antes da solda;

- c) O céu com aeronaves esperando aterrizarem;
- d) A espera de um produto em uma máquina de montagem por componentes;
- e) Pessoas esperando aglomeradas ou em fila;
- f) Acúmulo de chamadas telefônicas;
- g) Relatórios em uma caixa de entrada;
- h) Sala de espera de um hospital.

Nas simulações desse trabalho foram colocados *Buffers* em todas as áreas de carregamento de forma a dimensionar o número de caminhões que poderiam ser carregados ao mesmo tempo.

As *Machines (Activities)* são elementos físicos que operam em uma *Part (Entity)*, muitas vezes mudando-a de alguma forma. Máquinas gastam tempo para processar *Parts (Entities)*, mudando de um estado para outro a medida em que o tempo avança. Exemplos de algumas atividades das máquinas são:

- a) Um torno;
- b) Uma prensa;
- c) Um robô de solda;
- d) Uma empilhadeira;
- e) O caixa de um supermercado;

As *Machines* para as modelagens desse trabalho foram todas as áreas de carregamento de caminhões.

Além dos três elementos básicos principais, pode-se citar alguns outros, a saber:

- a) Chegadas (*arrivals*): elementos que indicam a introdução de entidades no modelo, ou seja, cada vez que uma nova *Part* é introduzida no modelo uma chegada ocorre. As chegadas podem ocorrer baseadas no tempo ou em alguma condição.
- b) Processos (*process*): define as operações realizadas sobre as *Parts* e as *Machines* para os diferentes locais existentes no modelo.
- c) Redes de percurso (*path networks*): definem o caminho a ser percorrido pelas *Parts* e/ou *Machines* durante a movimentação ao longo do modelo.
- d) Turnos (*shifts*): representa a escala de trabalho das *Machines*.
- e) Variáveis (*variables*): são contadores que podem ser incrementados ao longo do modelo para indicação do desempenho do mesmo.

- f) Atributos (*attributes*): são informações adicionadas a *Parts* ou *Machines*.
- g) Matriz (*array*): elemento de armazenamento de dados.
- h) Macros (*macros*): permite a associação de um valor que ocorre repetidas vezes.
- i) Sub-rotinas (*subroutines*): bloco lógico parametrizável que se repete em vários pontos do modelo.

No capítulo seguinte será apresentado o estudo de caso, objeto dessa dissertação, baseado na metodologia explicada nesse capítulo.



## 4 ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresenta o estudo de caso realizado em uma unidade fabril petroquímica localizada no Pólo Petroquímico de Camaçari na Bahia. Por questões de confidencialidade, não será divulgado o verdadeiro nome da organização. Doravante, a mesma será intitulada ABC Indústria Petroquímica. O estudo, planejado com a finalidade de analisar as potencialidades de uso da ferramenta de simulação no auxílio à tomada de decisões em cenários complexos. Versa sobre o desenvolvimento de um projeto de simulação computacional nas operações logísticas de movimentação, mais especificamente no carregamento e expedição de caminhões a granel, em sacaria e em tambores nas instalações da ABC Indústria Petroquímica. O método de trabalho apresentado no capítulo anterior foi aplicado para o desenvolvimento da pesquisa. A descrição do estudo de caso está dividida da seguinte forma:

- a) caracterização da ABC Indústria Petroquímica para contextualização do processo em estudo; e
- b) desenvolvimento do projeto de simulação computacional de acordo com a metodologia de Law & Kelton (1991) proposta no Capítulo 3 – Método de Trabalho.

### 4.1 Caracterização da ABC Indústria Petroquímica

A ABC Indústria Petroquímica (doravante mencionada apenas como ABC), onde foi realizado o estudo de caso, está localizada no município de Camaçari, Bahia e ao longo de mais de três décadas de história, tem evoluído de modo consistente, aprimorando o atendimento a seus clientes e trabalhando com excelência e qualidade em tudo o que faz.

É uma das empresas de um grande grupo industrial, que também atua nos setores de armazenagem, distribuição e comercialização de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) e no transporte, armazenamento e operação de terminais para produtos especiais.

As operações da ABC são integradas e, aliadas a uma alta produtividade, garantem a eficácia do desempenho dos seus produtos nos diversos mercados em que atua, que vão desde o setor de cosméticos, embalagens para bebidas até o de fluidos para freios, e de tintas e vernizes. A linha de produtos da ABC abrange intermediários orgânicos, solventes, tensoativos e especialidades químicas.

A ABC atua em mais de quarenta países, nos cinco continentes. Cerca de 30% da sua produção é exportada para uma vasta gama de empresas, no mundo inteiro, por meio de uma rede de distribuidores, representantes e agentes. Além de suas quatro unidades industriais no Brasil, a Empresa estabeleceu presença no exterior, mais especificamente no México, com a aquisição de uma grande unidade fabril.

A área de Logística da empresa desenvolve diversos programas de melhoria contínua com prestadores de serviço contratados, para assegurar a qualidade dos produtos durante o manuseio e a armazenagem. A Empresa participa do desenvolvimento de projetos específicos de logística para clientes, desde a escolha da embalagem mais adequada e a forma de transporte até programas de treinamento. Estas soluções podem incluir terminais químicos de armazenagem, companhias de transporte terrestre e marítimo, e inspetoras reconhecidas internacionalmente.

## **4.2 Desenvolvimento do Projeto de Simulação**

Considerando os objetivos do estudo apresentados no Capítulo 1, passa-se a discorrer sobre as fases do projeto de simulação realizado na ABC.

Os trabalhos tiveram início em julho de 2003, através de contato com a diretoria da empresa para apresentação do projeto de simulação a ser desenvolvido. Com a aprovação da diretoria, a empresa viabilizou o estudo de caso colocando à disposição seu pessoal, estrutura e base de dados.

### **4.2.1 Planejamento do Projeto de Simulação**

O delineamento do estudo iniciou-se a partir de reuniões realizadas com os supervisores da área de Logística da ABC. No primeiro encontro foi apresentado o projeto a ser desenvolvido, bem como foram prestados esclarecimentos mais detalhados acerca da ferramenta de simulação computacional que seria utilizada.

Foram realizadas cerca de três reuniões subseqüentes para fornecimento de indicações sobre o tipo de problema a ser estudado (uma das atas de reunião encontra-se no anexo I). Analisando os principais processos da ABC, identificou-se como processo alvo de estudo para a aplicação do projeto de simulação seriam as operações de carregamento e expedição de produtos a granel, em sacarias e em tambores em função da importância para o sistema da Organização, visto que tratavam-se de operações críticas, no que diz respeito a atendimento ao cliente (nível

de serviço), otimização de recursos, além de questões relacionadas a segurança industrial, conforme veremos mais a frente na sub-seção 4.2.1.2.

#### 4.2.1.1 Definição da Equipe de Trabalho

A equipe de trabalho foi constituída por três analistas (encarregados pela condução do projeto de simulação) e pelo Supervisor e Encarregado de Operações Logísticas (responsáveis pelas operações de carregamentos da unidade fabril).

#### 4.2.1.2 Formulação do Problema / Diagnóstico da Situação Real

Inicialmente, os esforços foram direcionados para o entendimento do sistema real. Para o modelador obter a familiarização e conhecimento adequado dos processos e serviços característicos da empresa foram realizadas observações e medições (cronometragens) *in loco* e entrevistas com o Supervisor e o Encarregado de Operações Logísticas. Não foi necessário estruturar nenhum questionário para as entrevistas citadas, pois a intenção das mesmas foi estruturar o fluxo logístico existente nas operações estudadas. As observações ocorreram tanto no início das atividades quanto posteriormente com o desenvolvimento do estudo. Além disso, também foram feitas as análises documentais e de *layout* do sistema real.

Pode-se observar através da Figura 12 como está configurada a operação logística de carregamento e expedição na ABC Indústria Petroquímica. Porém, antes, faz-se necessário uma breve explicação relativa aos nomes dos locais citados na operação logística da ABC, a saber:

- a) Portaria: entrada e saída principal da unidade industrial, por onde os caminhões acessam e saem da fábrica;
- b) Pátio: Local onde os caminhões aguardam as informações e liberações de carregamento, bem como procedem a amarração de cargas de embalados;
- c) Balança 1: balança destinada a pesagem inicial (tara) dos caminhões;
- d) Balança 2: balança destinada as pesagem parciais e final dos produtos carregados;
- e) Almoarifado AX-PETRO: almoarifado para produtos embalados, mais especificamente em tambores. Fica localizado na área de carregamento contínuo;
- f) Almoarifado AX-A: almoarifado para produtos embalados, mais especificamente em tambores e sacarias. Fica localizado na área de carregamento semi-contínuo;
- g) Almoarifado AX-B: almoarifado para produtos embalados, mais especificamente em tambores e sacarias. Fica localizado na área de carregamento semi-contínuo;

- h) Área de Carregamento Contínuo: área que contém ilhas de carregamento a granel. A denominação de contínuo se dá pelo fato de existirem pontos (linhas) dedicados para o carregamento dos produtos, sem a necessidade de se fazer set-up;
- i) Área de Carregamento Semi-contínuo: área que contém ilhas de carregamento a granel. A denominação de semi-contínuo se dá pelo fato de existirem alguns pontos (linhas) não dedicados para o carregamento dos produtos, ou seja, há necessidade de se fazer set-up para limpeza das linhas, para o caso de carregamento de produtos diferentes;

O processo logístico de carregamento pode ser resumidamente explicado da seguinte forma:

1. Os caminhões entram pela portaria e pegam a guia de carregamento. O horário de funcionamento vai das oito horas da manhã até as dez horas da noite;
2. Dirigem-se até a balança 1 para fazer a pesagem inicial (tara) do caminhão e depois vão para o pátio aguardar a liberação para carregamento;
3. Caminhões de graneis são abastecidos nas áreas de carregamento contínuo e semi-contínuo;
4. Caminhões de sacarias e tambores são carregados nos almoxarifados AX-PETRO, AX-A e AX-B;
5. Podem existir cargas mistas nos carregamentos a granel, ou seja, parte da carga é composta na área de carregamento contínuo e outra parte na área de carregamento semi-contínuo;
6. Podem existir cargas mistas nos carregamentos de sacarias e tambores, ou seja, pode-se ter caminhões carregados com produtos de dois ou até dos três almoxarifados (AX-PETRO, AX-A e AX-B);
7. A cada carregamento feito em um determinado local os caminhões devem se dirigir até a balança 2 para pesarem o respectivo produto carregado, ou seja, se um caminhão foi carregado com produtos em três lugares diferentes, a cada produto carregado ele teve que retornar para a balança 2 e pesar.

Para se ter uma melhor idéia das operações de carregamento, a seguir, será mostrado um exemplo de um carregamento misto com carga tripla, ou seja, carregamento em três locais diferentes.

Exemplo: Carregamento misto AX-PETRO / AX-A / AX-B

1. O caminhão entra pela Portaria;
2. Faz a pesagem inicial (tara) na balança B1;
3. Aguarda informações e liberação de carregamento no pátio do almoxarifado AX-PETRO;
4. Recebido as informações e liberação de carregamento, se dirige ao almoxarifado AX-PETRO para fazer o carregamento da primeira parte da carga;
5. Após realizado o carregamento parcial no almoxarifado AX-PETRO se dirige até a balança B2 para pesar o primeiro produto carregado;
6. Se dirige ao almoxarifado AX-A para fazer o carregamento da segunda parte da carga;
7. Após realizado o carregamento parcial no almoxarifado AX-A se dirige novamente até a balança B2 para pesar o segundo produto carregado;
8. Se dirige ao almoxarifado AX-B para fazer o carregamento da terceira parte da carga;
9. Após realizado o carregamento parcial no almoxarifado AX-B se dirige novamente até a balança B2 para pesar o terceiro produto carregado;
10. Se dirige até o pátio do almoxarifado AX-PETRO para fazer a amarração da carga;
11. Realização o check-out e recebe a liberação de saída;
12. Sai da fábrica.

Cabe ressaltar que o carregamento exemplificado possui o passo 10 (amarração no pátio), por se tratar de carragamento de tambores e/ou sacarias. No caso dos carregamentos a granel, não existe esse passo pelo fato de não ser necessário amarração de carga. Faz-se necessário observar ainda que todas as rotas de carregamentos estão descritas no item 4.2.2.1 - Premissas Básicas do Projeto.



Figura 12: Esquema Logístico Atual – carregamento e expedição na ABC Indústria Petroquímica  
(Elaborada pelo autor)

Após análise da operação logística em questão, constatou-se a complexidade da mesma, conforme se pode comprovar na figura 12. Vale ressaltar que nem todas as rotas de carregamento foram inseridas no esquema da figura 12, para que a mesma não ficasse confusa devido ao emaranhado de setas que teria. Porém, as principais rotas foram alocadas (verificar entradas e saídas das setas) para que o leitor tenha uma real noção da complexidade do cenário em questão. Com isso diagnosticou-se os seguintes pontos críticos, passíveis de melhorias, no sistema logístico estudado:

- a) Grande variedade de combinações para carregamento dos caminhões, visto que a seqüência depende dos roteiros de distribuição;
- b) Contra fluxo intenso, devido ao grande número de caminhões nas vias de mão dupla;
- c) Trechos de mão dupla com vias bastante estreitas, dificultando o tráfego e podendo causar acidentes (conforme figura 13);
- d) Locais de carregamento dispersos e em alguns casos relativamente distantes uns dos outros;
- e) Armazém AX-B localizado muito próximo a unidades produtivas, implicando em tráfego intenso para carregamento e gerando situações de risco potencial. (Esse item é

um dos mais importantes, pois a sua resolução acabou impactando na construção de um novo almoxarifado AX-B);

- f) Centralização da localização das balanças de pesagem;
- g) Existência de horários de “pico” – concentração de caminhões para carregamento após as quinze horas;
- h) Dificuldade de formação prévia das cargas a granel;
- i) Programação de carregamento definida no pátio após a chegada dos caminhões.



Figura 13: Trecho de passagens de caminhões – Curvas praticamente a 90° (Elaborada pelo autor)

#### 4.2.1.3 Definição dos Objetivos

A definição dos objetivos conduzirá o desenvolvimento do modelo e dos experimentos desenvolvidos no projeto de simulação servindo, assim, como balizadores do projeto. Para Bateman *et al.*(1997) os objetivos do projeto de simulação acabam surgindo naturalmente de uma boa formulação do problema. Os objetivos inicialmente definidos foram:

- a) análise da performance e capacidade atual do sistema real;
- b) identificação das principais restrições de capacidade e/ou segurança do sistema real;
- c) análise das formas de elevar a capacidade do sistema real para atender os picos de demanda, bem como as questões de segurança.

#### 4.2.1.4 Identificação das Restrições

As restrições para o desenvolvimento de um projeto de simulação podem ser classificadas em três categorias, quais sejam: tempo, escopo e recursos (Harrell e Tumay, 1995 *apud* Barrônio, 2000). No entanto, além das três restrições anteriormente citadas, considerou-se ainda restrições de cunho político e estratégico.

A restrição quanto à categoria do tempo pode estar diretamente relacionada com o nível de detalhamento do modelo. No presente estudo o tempo para realização do projeto foi uma das restrições na proposição de melhorias na produtividade da atividade de carregamento de caminhões, isto é, as alternativas de melhoria referentes ao processo (tempo das atividades) ficaram restritas à condição do tempo para execução do projeto.

Outro fator de restrição importante levantado pelo grupo refere-se aos recursos disponibilizados para o desenvolvimento do projeto. É importante que os recursos a serem disponibilizados sejam compatíveis com os objetivos do projeto, estando as preocupações, neste caso, focadas principalmente para os dados disponíveis. Quanto a essa restrição, cabe destacar que a disponibilidade dos colaboradores da ABC envolvidos no projeto foi total, além da facilitação a dados e documentos, além da acessibilidade em todos os locais da organização que foram necessários para o desenvolvimento do trabalho.

O escopo do trabalho foi claramente definido entre os atores do projeto e seguido até a sua conclusão. E, as restrições políticas e estratégicas referiram-se ao cumprimento de normas e procedimentos internos definidos no planejamento estratégico da organização.

#### 4.2.1.5 Definição das Especificações do Projeto

O escopo do projeto de simulação é descrito seguindo os cinco itens que seguem:

- a) Abrangência - determinação da extensão do modelo. A abrangência do modelo está restrita às atividades de movimentação, carregamento e expedição de produtos a granel, sacaria e tambores.
- b) Detalhamento – o grau de detalhamento do modelo seguiu os princípios de modelagem, quais sejam, começar pequeno e simples e ir agregando maior grau de detalhamento quando necessário (LAW & KELTON, 1991, PEGDEN *et al.*, 1990). O grau de detalhamento foi determinado pelos objetivos do estudo.
- c) Acurácia dos Dados - a acurácia dos dados está diretamente relacionada com a precisão dos resultados da simulação, uma vez que poderia implicar numa restrição de tempo para o projeto. No estudo, o grau de acurácia dos dados foi alinhado aos objetivos do projeto de simulação de forma a não prejudicar o desempenho do modelo. Todos os dados foram coletados em campo (ver Anexo II) e comparados com a base de dados da empresa, ou seja, são dados reais de operação. Isso foi possível uma vez que a empresa mantém registros



estatísticos das suas operações de carregamento de produtos. Com isso, o tempo para execução desta atividade foi bastante reduzido;

d) Tipo de Experimento – Definiu-se utilizar os tempos reais de execução das operações de movimentação, carregamento e expedição no período de um mês, uma vez que existem nesse período, picos de demanda, o que caracteriza o modelo como sendo *determinístico* e *terminante*. Além disso, os experimentos considerados levaram em conta que um *único modelo* seria suficiente tanto para representar a situação atual quanto para representar os cenários criados. A classificação do modelo quanto aos critérios apresentados no item 2.3.5 – classificação dos modelos de simulação - é apresentada na figura 14 para melhor entendimento do modelo de simulação.

Sendo assim, o modelo de simulação proposto para a ABC pode ser classificado de acordo com a figura 14 como sendo:

- |                 |                 |
|-----------------|-----------------|
| a. Simbólico;   | e. Discreto;    |
| b. Digital;     | f. Terminante;  |
| c. Estocástico; | g. Uso contínuo |
| d. Dinâmico;    |                 |

O significado de cada item da classificação acima descrita já foi explicado na sub-seção 2.3.6.

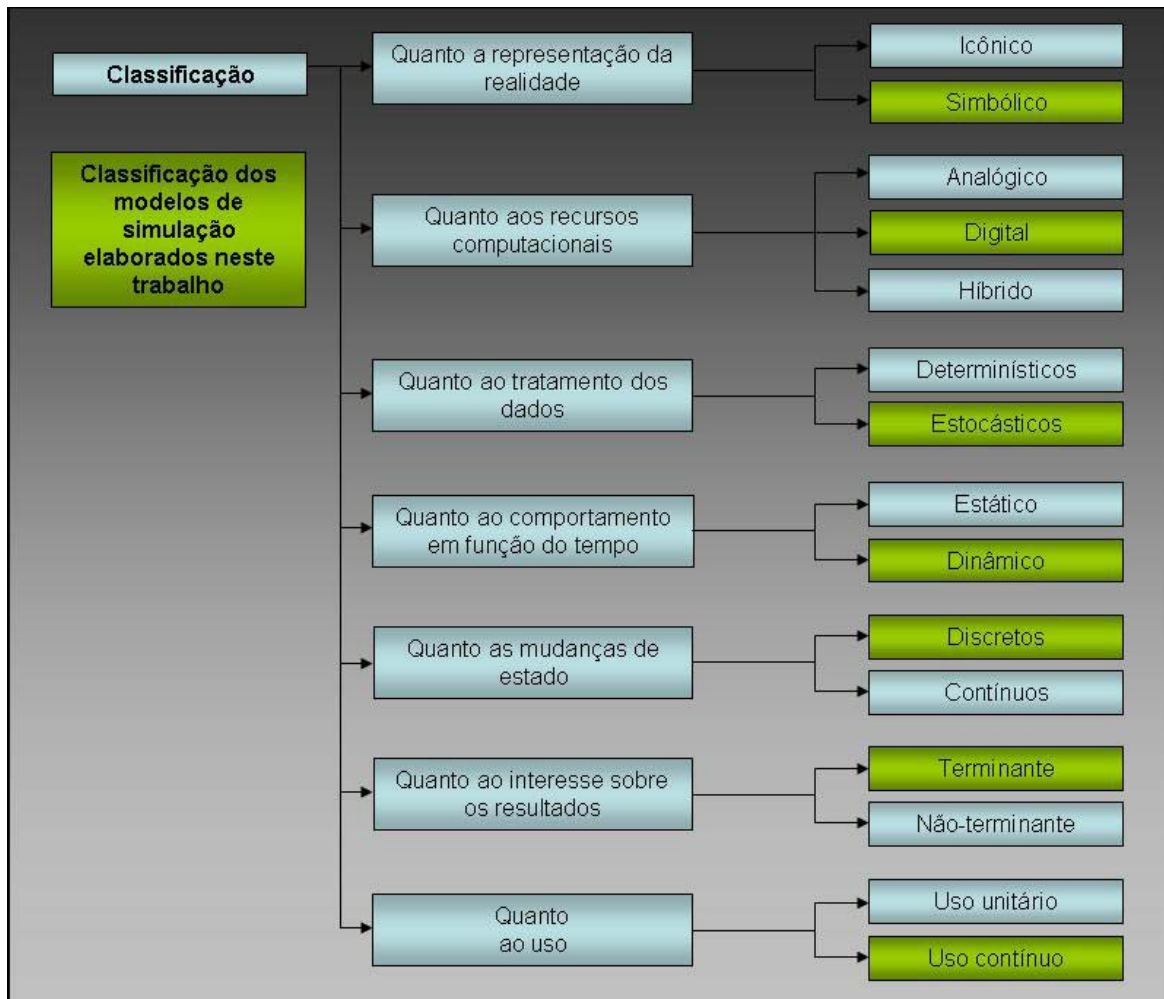


Figura 14: Classificação do modelo de carregamento. (Elaborada pelo autor)

e) Forma dos Resultados – os resultados do modelo buscaram representar o funcionamento real das operações de movimentação, carregamento e expedição de produtos da ABC. Para tanto foram identificados indicadores de performance para o processo em questão como: número total de caminhões carregados, carregamentos por local, número de carregamento por unidade de tempo, além de chegadas e saídas e filas. Além destes indicadores foram utilizados os recursos que o pacote de simulação apresenta com várias formas de visualização de resultados através de gráficos e planilhas. Todos esses indicadores podem ser visualizados no Anexo IIIA, B, C e D.

#### 4.2.2 Coleta de Dados e Definição do Sistema e Modelo Conceitual

Nesta etapa foi desenvolvido o modelo teórico no qual o modelo de simulação foi baseado. Definiu-se os elementos, inter-relacionamentos, fatores principais, os locais, as entidades, eventos, atributos e indicadores do sistema, além dos dados necessários para alimentar o modelo, conforme explicado no item 3.4.1.1 – Elementos Básicos do Witness.

Os dados necessários para a modelagem, referente aos elementos de entrada e saída do modelo, estavam todos disponíveis na base de dados da empresa devido a mesma guardar todos os dados estatísticos referente ao seu processo. Houve a necessidade de formatação dos dados na forma em que o *software* de simulação pudesse fazer o reconhecimento destes. O tratamento dos dados foi realizado com o auxílio de planilha eletrônica, aplicativo Excel, utilizada para geração das análises (ver Anexos II e III). Com os recursos atuais disponíveis na planilha eletrônica, como tabela dinâmica, o tempo para formatação dos dados foi bastante reduzido.

No que se refere aos dados de tempo, cabe ressaltar que apesar de já existirem boa parte deles nos bancos de dados da ABC, foi feita uma cronometragem de todos, justamente para se comprovar a acurácia dos mesmo. Essa tarefa foi um pouco complicada pois existiam algumas particularidades acerca dos eventos de carregamento da ABC, a saber:

- a. Sazonalidade durante o dia, ou seja, havia uma intensificação de chegada de caminhões para carregamento a partir das quinze horas, diariamente, com “pico” por volta das vinte e duas horas;
- b. Sazonalidade semanal, ou seja, intensificação do número de caminhões para serem carregados nas sextas-feiras, por conta do final de semana;
- c. Sazonalidade mensal, ou seja, intensificação do número de caminhões na última semana do mês.

Por conta dessas particularidades do sistema real serem muito importantes para a construção do modelo, houve necessidade de se fazer cronometragens específicas em todos esses períodos citados. Por exemplo: foram feitas cronometragens no processo de carregamento da ABC em plena sexta-feira até por volta da meia-noite. Face ao explicado, dá para se ter uma idéia do trabalho feito para coletar os dados da forma mais fidedigna possível.

#### 4.2.2.1 *Premissas Básicas e Dados Coletados*

Primeiramente constatou-se algumas premissas inerentes a estrutura física existente, fazendo algumas suposições sobre modificações que poderiam vir a serem feitas, fruto do projeto de simulação, a saber:

- A construção de um novo armazém (se fosse o caso) deveria ter área de *picking*<sup>8</sup> (separação) e amarração;
- A balança existente e desativada próximo a área de carregamento semi-contínuo poderia ser reaproveitada;
- Só havia carregamento de sacaria nos armazéns AX-A e AX-B;
- O armazém AX-A era para estocagem e carregamento, além da operação de enchimento de sacaria;
- O armazém AX-B além da estocagem e carregamento tinham a operação de envase dos tambores;
- Existiam seis empilhadeiras para atender toda área;
- O armazenamento de granel era feito em tambores e sacaria sobre paletes;
- No caso de aumento de demanda/produção poderia se armazenar nas ruas;
- No armazém AX-A existia uma área para guarda de tambores vazios em espera para envase de material;
- Existia um sistema para controle de carregamento (SIMPRO);
- Existia um sistema para controle de estoque (SESTO);

A seguir será mostrado o levantamento de dados (pesquisa de campo) referentes ao mix de produtos existentes, volume de carregamentos e tipos de roteiros de carregamentos.

- Existiam, em média, 70 produtos;
- Carregamento de container representava 20% do total de carregamento de embalados;
- Média mensal de caminhões:
  - 720 (Granel) – 62%
  - 450 (Tambor / Sacaria) – 38%
- Média diária de caminhões:
  - De segunda-feira a quinta-feira: 55 caminhões/dia;
  - Sexta-feira: 72 caminhões/dia (aumento médio de 30%).

---

8. Picking – área de separação de materiais

- Tempo médio de carregamento para tambores:
  - Carga pronta: 30 minutos – ocorre em cerca de 20% dos carregamentos;
  - Carga não pronta: 1 hora – ocorre em cerca de 80% dos carregamentos.

Observação: Carga pronta significa que a carga (produtos) já estavam previamente separados na área de *picking* do almoxarifado, aguardando somente o carregamento

- Tempo médio de carregamento para caminhões a granel na área de carregamento contínuo:
  - 50% dos produtos carregados em 40 minutos e 50% carregados em 1 hora e 20 minutos.
- Tempo médio de carregamento para caminhões a granel na área de carregamento semi-contínuo: 2 horas;
- Tempo médio de amarração de carga: 30 minutos;
- Quantidade média mensal de caminhões para carregamento a granel:
  - 80% na área de carregamento contínuo, equivalente a aproximadamente 600 caminhões;
  - 20% na área de carregamento semi-contínuo, equivalente a aproximadamente 120 caminhões.
- Quantidade média mensal de caminhões no carregamento de embalados - quantidade de tambores:
  - 60% dos carregamentos feitos nos almoxarifados AX-A ou AX-B, equivalente a aproximadamente 12.000 tambores;
  - 40% dos carregamentos feitos no almoxarifado AX-PETRO, equivalente a aproximadamente 8.000 tambores.
- Na área de carregamento contínuo existiam seis ilhas de carregamento com linhas dedicadas para cada produto e os 22 produtos existentes estão dispostos de acordo com a sua demanda, como pode ser verificado no Anexo IV;
- Na área de carregamento semi-contínuo existiam duas ilhas de carregamento e não haviam linhas dedicadas, sendo necessário a realização de *set-up* para limpeza das linhas, pois existiam 50 produtos diferentes;
- O produto UNITOL L20 (da área de carregamento semi-contínuo) era responsável por 80 dos 120 caminhões de produtos a granel;
- Os produtos RENEX 60, 95, 100 e o ULTRAMINE 200 eram responsáveis por uma movimentação de aproximadamente 4.000 tambores na área de carregamento semi-contínuo. Doravante esses produtos serão citados ao longo do texto como produtos de grande demanda;

Na seqüência serão explicitados todos os tipos de rotas de carregamentos (mix de cargas e seus respectivos roteiros dentro da fábrica) existentes na ABC.

- Roteiros dos carregamentos a Granel (Existiam cinco roteiros distintos):

- Somente na área de carregamento contínuo:
  - Caminhão entra pela portaria – pesa (tara) na balança B1 – aguarda liberação de carregamento no pátio do almoxarifado AX-PETRO – carrega na área de carregamento contínuo – pesa produto na balança B2 – faz check-out – sai da fábrica.
- Somente na área de carregamento semi-contínuo:
  - Caminhão entra pela portaria – pesa (tara) na balança B1 – aguarda liberação de carregamento no pátio do almoxarifado AX-PETRO – carrega na área de carregamento semi-contínuo – pesa produto na balança B2 – faz check-out – sai da fábrica.
- Carregamento para TEQUIMAR:
  - Caminhão entra pela portaria – Carrega em ilha exclusiva na área de carregamento contínuo – faz check-out – sai.
  - Nesse caso específico não é necessário pesar, pois a pesagem é feita no destino (Tequimar).
- Carregamento misto contínuo / semicontínuo:
  - Caminhão entra pela portaria – pesa (tara) na balança B1 – aguarda liberação de carregamento no pátio do almoxarifado AX-PETRO – carrega na área de carregamento contínuo – pesa produto na balança B2 – carrega na área de carregamento semi-contínuo – pesa produto na balança B2 - faz check-out – sai da fábrica.
- Carregamento misto somente na área de semi-contínuo
  - Caminhão entra pela portaria – pesa (tara) na balança B1 – aguarda liberação de carregamento no pátio do almoxarifado AX-PETRO – carrega primeiro produto na área de carregamento semi-contínuo – pesa produto na balança B2 – carrega segundo produto na área de carregamento semi-contínuo – pesa produto na balança B2 - faz check-out – sai da fábrica.
- Roteiros dos carregamentos de embalados - tambor e/ou sacaria. (Existiam oito roteiros distintos):
  - Carregamento exclusivo no almoxarifado AX-PETRO:
    - Caminhão entra pela portaria – pesa (tara) na balança B1 – aguarda liberação de carregamento no pátio do almoxarifado AX-PETRO –

carrega no almoxarifado AX-PETRO – pesa produto na balança B2 – faz a amarração da carga no pátio - faz check-out – sai da fábrica.

- Carregamento exclusivo no almoxarifado AX-A:
  - Caminhão entra pela portaria – pesa (tara) na balança B1 – aguarda liberação de carregamento no pátio do almoxarifado AX-PETRO – carrega no almoxarifado AX-A – pesa produto na balança B2 – faz a amarração da carga no pátio - faz check-out – sai da fábrica.
- Carregamento exclusivo no almoxarifado AX-B:
  - Caminhão entra pela portaria – pesa (tara) na balança B1 – aguarda liberação de carregamento no pátio do almoxarifado AX-PETRO – carrega no almoxarifado AX-B – pesa produto na balança B2 – faz a amarração da carga no pátio - faz check-out – sai da fábrica.
- Carregamento misto nos almoxarifados AX-PETRO / AX-B:
  - Caminhão entra pela portaria – pesa (tara) na balança B1 – aguarda liberação de carregamento no pátio do almoxarifado AX-PETRO – carrega primeiro produto no almoxarifado AX-PETRO – carrega segundo produto no almoxarifado AX-B – pesa produtos na balança B2 – faz a amarração da carga no pátio - faz check-out – sai da fábrica.
- Carregamento misto nos almoxarifados AX-PETRO / AX-A
  - Caminhão entra pela portaria – pesa (tara) na balança B1 – aguarda liberação de carregamento no pátio do almoxarifado AX-PETRO – carrega primeiro produto no almoxarifado AX-PETRO – carrega segundo produto no almoxarifado AX-A – pesa produtos na balança B2 – faz a amarração da carga no pátio - faz check-out – sai da fábrica.
- Carregamento misto AX-A / AX-B
  - Caminhão entra pela portaria – pesa (tara) na balança B1 – aguarda liberação de carregamento no pátio do almoxarifado AX-PETRO – carrega primeiro produto no almoxarifado AX-A – carrega segundo produto no almoxarifado AX-B – pesa produto na balança B2 – faz a amarração da carga no pátio - faz check-out – sai da fábrica.
- Carregamento misto AX-PETRO / AX-A / AX-B
  - Caminhão entra pela portaria – pesa (tara) na balança B1 – aguarda liberação de carregamento no pátio do almoxarifado AX-PETRO – carrega primeiro produto no almoxarifado AX-PETRO – carrega

segundo produto no almoxarifado AX-A – carrega terceiro produto no almoxarifado AX-B – pesa produto na balança B2 – faz a amarração da carga no pátio - faz check-out – sai da fábrica.

### **4.2.3 Construção do Modelo Computacional**

A modelagem computacional consiste em desenvolver o modelo conceitual do sistema a ser estudado em um *software* de simulação. O objetivo é traduzir o modelo conceitual num modelo computacional. Nesta etapa o modelo foi rodado, verificado e validado. Os erros de lógica ou sintaxe foram corrigidos ao longo da construção do modelo.

#### **4.2.3.1 Elementos do Modelo**

Na tabela 3 apresentam-se os principais elementos definidos no modelo. Esses elementos que constituem o modelo podem ser visualizados no ambiente de simulação na figura 10 que segue.



| <b>Elementos do Modelo</b> | <b>Descrição e Características</b>   |
|----------------------------|--|
| Layout                     | O layout da área da Unidade fabril da ABC foi construído em escala no ambiente Witness e a partir daí foram inseridos os demais elementos do modelo.   |
| Locais (locations)         | Os locais inseridos nos modelos representam as ruas, os almoxarifados e as áreas de carregamento.  |
| Entidades (Entity)         | Representam as ordens de carregamento dos caminhões e seus respectivos roteiros de carregamento.   |
| Recursos (Resources)       | O layout da área da Unidade fabril da ABC foi construído em escala no ambiente Witness e a partir daí foram inseridos os demais elementos do modelo.   |
| Redes de Percurso (path)   | Rede de deslocamento dos caminhões dentro da fábrica (caminhos percorridos).   |
| Processos (process)        | Os processos foram construídos a partir do fluxo das entidades. Para alimentar o modelo com os roteiros de cada tipo de carregamento com seu respectivo tempo de execução foram utilizados arquivos externos de planilhas eletrônicas. |
| Turnos (shifts)            | Foi criado turnos de trabalho respeitando-se os períodos de paradas dos sistema real.  |
| Variáveis (variables)      | Este elemento foi utilizado para suportar o armazenamento de dados de performance do sistema modelado. Algumas variáveis criadas, por exemplo, foram números total e por área de caminhões carregados.                                 |

*Tabela 3: Elementos do modelo computacional.(Elaborada pelo Autor)*

A figura 15 apresenta o modelo computacional desenvolvido.

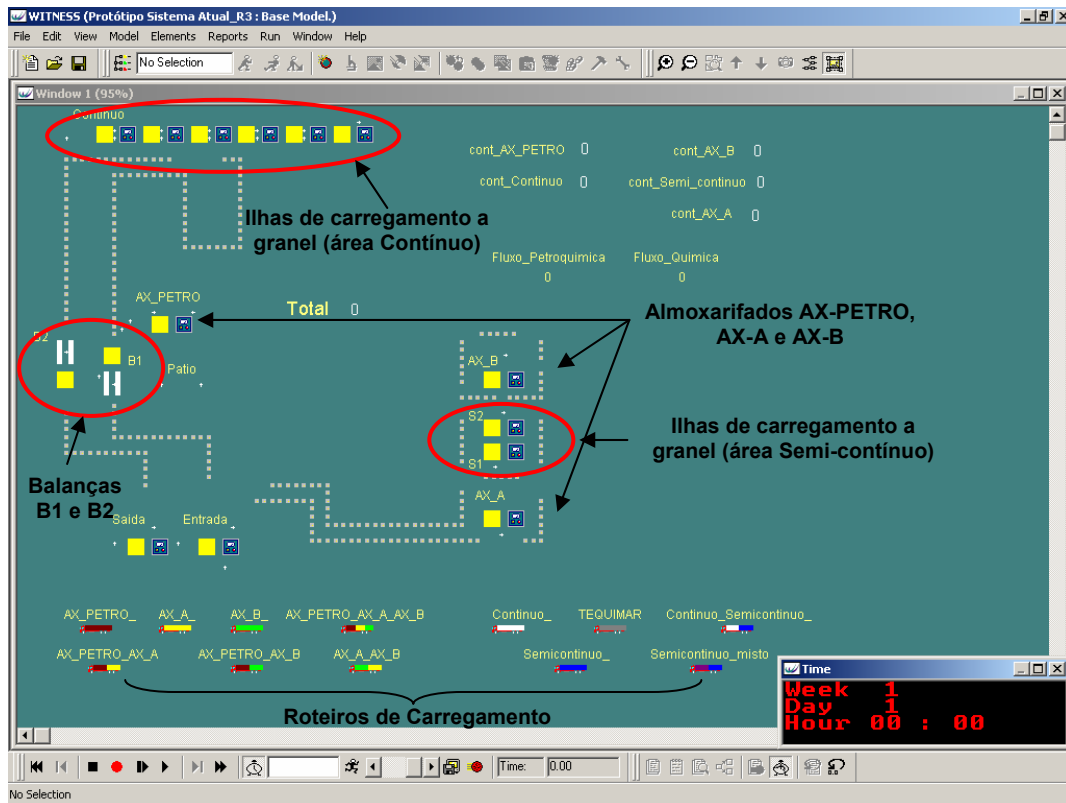


Figura 15: Modelo computacional (Elaborada pelo autor)

Na figura 15 pode-se verificar o modelo do sistema real, doravante denominado cenário 1, criado já no ambiente de simulação Witness, onde foram representados todos os elementos ou entidades necessários a consecução do modelo e que representam partes físicas da Unidade Industrial da ABC, como: as balanças rodoviárias B1 e B2, a área de carregamento a granel contínuo, a área de carregamento a granel semi-contínuo, os almoxarifados de tambores e sacarias AX-PETRO, AX-A e AX-B, além dos roteiros de carregamento.

Nesse momento dá para se ter uma idéia de quão amigável são os pacotes de *softwares* de simulação existentes, em especial o Witness, pois os mesmos permitem a reprodução como se fosse uma planta baixa do ambiente a ser simulado, permitindo assim que se tenha uma visão completa de todo o modelo.

#### 4.2.3.2 Verificação e Validação do Modelo

São etapas muito próximas e por vezes acabam se confundindo por serem tão complementares, uma vez que a medida que a verificação das partes do modelo ia sendo feita e erros não eram encontrados, aquelas partes estavam automaticamente validadas. O objetivo da verificação é avaliar se o modelo computacional está “rodando” adequadamente. Identificam-se se as equações e rotinas do modelo estão funcionando como esperado e se o

modelo não está travado em algum ponto, ou seja, a partir daquele ponto específico não há continuidade da rodada de simulação. Essas ações podem ser verificadas colocando o modelo para “rodar” a uma velocidade baixa (pois uma das facilidades das ferramentas de simulação computacional é a possibilidade de acelerar o tempo) e verificar se existe algum problema de travamento. Também pode-se recorrer a auxílios existentes na própria ferramenta computacional, pois alguns erros podem não ser perceptíveis somente com a inspeção visual. Por conta disso, pode-se recorrer a um menu chamado “interact box”, trata-se de janela de informação do desempenho lógico do modelo, onde erros de lógica existentes neste são informados ao analista, conforme mostrada na figura 16. As duas ações foram feitas continuamente no trabalho em questão.

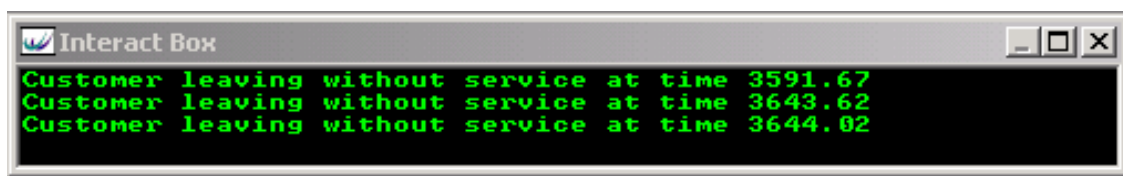


Figura 16: Interact Box – janela de informação de desempenho do modelo. (retirada do software Witness)

A verificação de erros de travamento e/ou problemas de lógica no modelo foi feita de duas maneiras: a verificação por partes e o teste por parâmetros. Na verificação do modelo fez-se uso das técnicas mais comuns utilizadas para identificação de problemas com programas computacionais. Dentre elas destaca-se a verificação por partes, que foi amplamente utilizada como forma de rastreamento e refinamento progressivo do modelo. A verificação por partes ocorreu durante a construção do modelo; a cada parte construída o modelo foi testado contra erros com o intuito de evitar a etapa posterior de correção do modelo com um todo. Foi utilizado também o teste por parâmetros, que consiste na execução da simulação através da variação dos parâmetros de entrada, verificando se os resultados obtidos apresentam um comportamento razoável quando comparado ao sistema real.

Erros de entrada de dados foram identificados pelo próprio *software* ao se tentar rodar a simulação. Os erros foram gerados na conversão dos dados para formato de leitura do simulador e foram apresentados na janela de correção conforme mostrado na figura 16.

A validação do modelo de simulação consiste em assegurar que este representa o sistema real. O objetivo é de verificar se o comportamento do modelo computacional construído está representando adequadamente o sistema (LAW E KELTON, 1991).

A abordagem de validação do modelo utilizada foi a validação operacional, que consiste na comparação direta dos valores gerados pelo modelo com os coletados do sistema real (PEGDEN et al., 1990). Os indicadores apresentados na letra “e” do item 4.2.1.5 foram utilizados para esta validação. As performances do sistema real e do modelo foram comparadas através desses indicadores. Outro parâmetro importante considerado está relacionado com a necessidade de atendimento de todos os pedidos de carregamento gerados no período de análise (30 dias), o que se verificou ao “rodar” o modelo.

Cabe ressaltar que todos os erros de continuidade (travamentos) e/ou de lógica (programação), identificados nas etapas de verificação e validação eram corrigidos de imediato e tinham seus respectivos testes de verificação feitos logo em seguida. Para essa ação existe no Witness uma tela com uma rotina específica para a validação de lógica de programação, conforme mostra a figura 17.

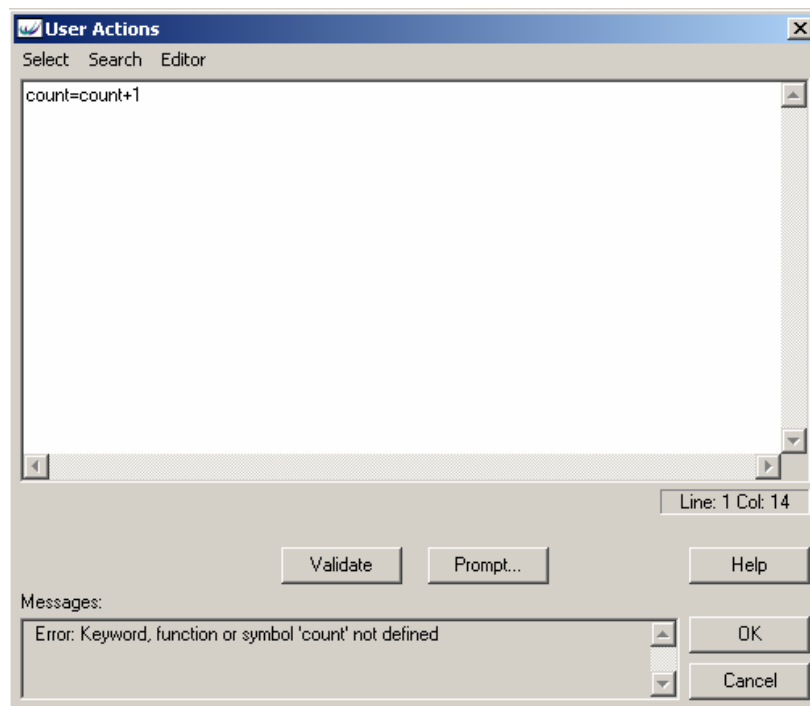


Figura 17: Menu com rotina para validação de lógica de programação (retirada do software Witness)

Verificado e validado o modelo de representação do sistema real, partiu-se para a consecução das alternativas de melhorias desse sistema, conforme será detalhado na sub-seção seguinte.

#### 4.2.4 Condução de Experimentos

Nesta etapa definiram-se os cenários a serem testados no modelo de simulação. Para a definição desses cenários, é necessário promover o entendimento do sistema real a partir do

modelo. O fato dos analistas manipularem a representação do sistema real através do modelo computacional permite a eles mudar sua compreensão do sistema, aprimorando o aprendizado, tal como expõe Andrade (1998). Assim, a familiarização com o modelo e o entendimento da influência das variáveis no comportamento do sistema foi alcançada através da alteração de alguns parâmetros de entrada e observação das variáveis de resposta.

Este processo deu suporte à construção e validação do cenário 1, o qual representa o sistema real. Também foi possível identificar as principais restrições de capacidade do sistema. A partir disto, foram elaborados cenários alternativos que representavam ações de melhoria de desempenho do sistema.

#### 4.2.4.1 Construção de Cenários

A partir da análise da modelagem da situação atual foram confirmadas todas as premissas levantadas na fase de diagnóstico, como por exemplo: contra fluxo e congestionamento de caminhões em decorrência da centralização do ponto de pesagem, da intensidade de carregamentos a partir das quinze horas, dos problemas ocorridos pelo estreitamento das vias de acesso, do grande fluxo de caminhões próximo à unidades produtivas, entre outros. Além da confirmação das premissas levantados na fase de diagnóstico, constatou-se alguns outros problemas, a saber: devido boa parte das cargas não serem programadas e não estarem prontas em uma área de *picking* a espera do carregamento, alguns caminhões permanecem na unidade após a meia noite, necessitando abertura do portão após o horário programado para conclusão do carregamento. Outro problema observado em decorrência da modelagem, refere-se ao congestionamento causado em frente ao AX-PETRO, pela necessidade de quase todos os caminhões terem que receber informações sobre suas respectivas cargas.

A partir da compreensão do comportamento do sistema real, obtida na construção e validação do cenário 1, novas percepções foram geradas e novas alternativas/cenários foram propostos, no sentido de buscar a otimização do processo. Os cenários propostos como alternativas de melhoria em relação ao Cenário 1 – Situação Real, são:

- a) Cenário 2 - Transferência dos produtos de grande demanda da área de carregamento semi-contínuo para a área de carregamento contínuo;
- b) Cenário 3 – Trata-se do Cenário 2 acrescentado a construção de um novo almoxarifado AX-B unificado com o almoxarifado AX-A;

- c) Cenário 4 - Trata-se do Cenário 2 acrescentado a construção de um novo almoxarifado AX-B separado do almoxarifado AX-A;
- d) Cenário 5 – Trata-se do Cenário 3 sem a transferência dos produtos de grande demanda;
- e) Cenário 6 - Trata-se do Cenário 4 sem a transferência do produtos de grande demanda;

O intuito da criação dos Cenários 5 e 6 foi verificar a real necessidade da transferência dos produtos de grande demanda, uma vez que as modificações nos almoxarifados e nos carregamentos já tinham sido feitas. A necessidade dessa constatação deveu-se principalmente pelo aspecto financeiro, uma vez que as linhas (tubulações) e as facilidades (equipamentos) para transferir os produtos mais demandados, eram linhas especiais produzidas em aço inox de custo elevado.

As análises obtidas através da simulação dos cenários aqui propostos poderão ser verificadas no Capítulo 5 – Análise dos Resultados.

## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este item descreve os resultados obtidos nas simulações computacionais para todos os cenários simulados e sua análise inicia-se com a descrição do cenário representativo do sistema real. A construção de cenários tem como objetivo analisar alternativas para uma situação específica nas operações logísticas de movimentação, carregamento e expedição de produtos da ABC.

### 5.1 Apresentação e Interpretação dos Resultados.

#### 5.1.1 Cenário 1 – Situação Real.

Esse cenário tratou do modelo que representa a situação real, ou seja, a representação do funcionamento do sistema logístico da ABC antes do estudo em questão. O cenário 1 retratado pela figura 18 já foi detalhadamente explicado na sub-seção 4.2.3, porém cabe destacar agora os indicadores necessários para o cálculo do índice de contra fluxo (ICF), conforme sugere o método proposto na seção 3.7. Vê-se na figura 18 os valores dos contadores A e B (número de passagens reais dos caminhões) e dos outros contadores que somados informam o número ideal de passagens dos caminhões. Para o cenário 1 tem-se  $P_P = 1.826$ ;  $P_Q = 645$  e  $P_{VI} = 1.448$ . O  $P_{VI}$  é o indicador do número ideal das passagens de caminhões, logo parte-se do princípio que ao carregar no almoxarifado AX-A e AX-B, os caminhões passassem somente uma vez nesses locais, portanto, não se deve levar em consideração a uma das duas totalizações (AX-A ou AX-B) para o cálculo do  $P_{VI}$ . Para esse estudo sempre foi descartado o valor referente ao almoxarifado AX-B. Esses índices são apontados em todos os seis cenários propostos e os resultados dos cálculos dos índices de contra fluxo estão apresentados em forma de tabela na sub-seção 5.2.2.

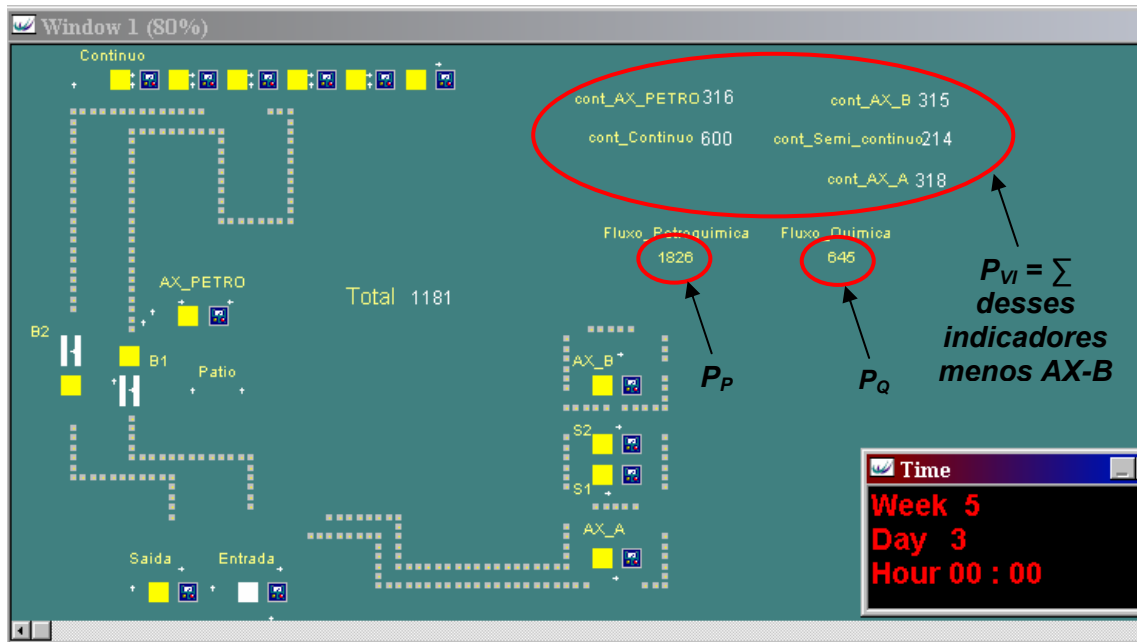


Figura 18: Modelo representativo do Cenário 1 – Situação Real (Elaborada pelo autor)

### 5.1.2 Cenário 2 - Transferência de produtos de grande demanda da área de carregamento semi-contínuo para a área de carregamento contínuo.;

A transferência de alguns produtos da área de carregamento semi-contínuo para a área de carregamento contínuo já era um desejo antigo do pessoal da expedição da ABC, face ao *feeling* existente de uma possível redução no fluxo de veículos próximos a área produtiva que ficava perto da área de carregamento semi-contínuo, porém, quais seriam as conseqüências desse *feeling*? Como tomar uma decisão baseada somente em *feeling*? Por conta disso, começa-se a justificar o uso de modelagem e simulação computacional na busca de alternativas para o problema.

Nos estudos realizados e comprovados pela modelagem e simulação da operação de transferência dos produtos mais demandados, verificou-se que a retirada dos produtos RENEX 60, RENEX 95, RENEX 100, UNITOL L20 e ULTRAMINE 200 da área de carregamento semi-contínuo para a área de carregamento contínuo deixou de movimentar na primeira 80 caminhões a granel e 4.000 tambores, contribuindo assim para desafogar as operações de carregamento na área de carregamento semi-contínuo. Constatou-se então que além da redução significativa do número de caminhões a granel (85 carretas), o número de carregamentos de tambores foi reduzido em um terço, passando de 12.000 tambores para 8.000 tambores. Toda essa memória de cálculo poderá ser analisada nos Anexos III-A e III-D,



comparando-se o quantitativo de caminhões carregados na área de carregamento semi-contínuo (hachurado em amarelo).

O resultado quantitativo desse cenário em relação aos números que compõem o índice de contra fluxo trazem  $P_P = 1.625$ ;  $P_Q = 444$  e  $P_{VI} = 1.394$ , conforme mostrado na figura 19.

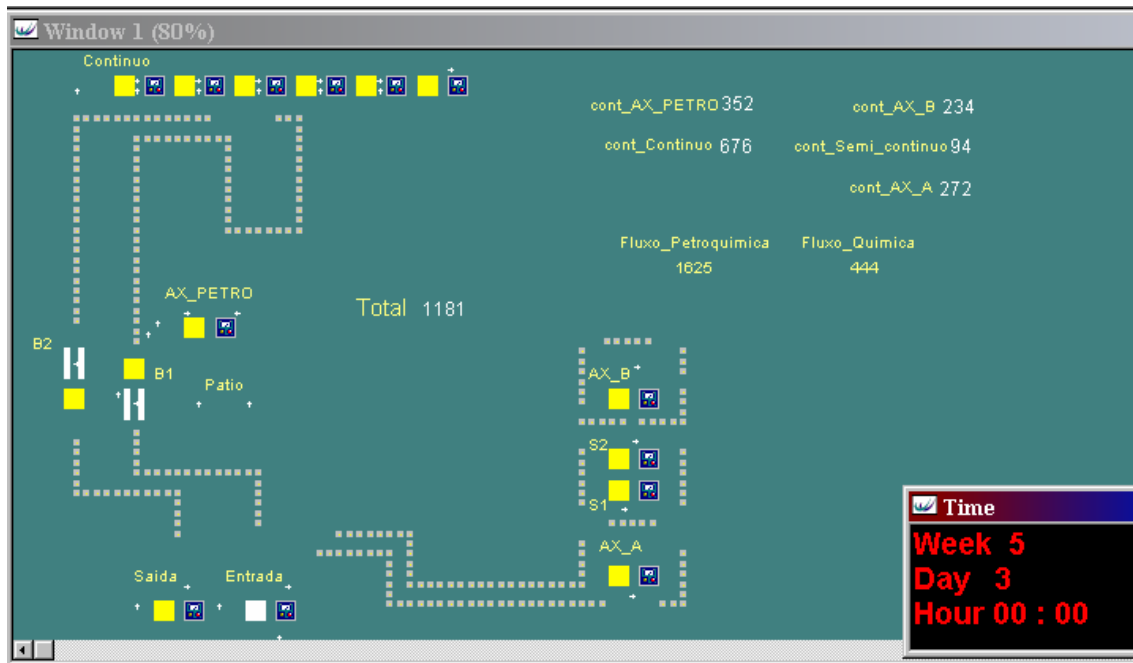


Figura 19: Modelo representativo do Cenário 2 – Situação Real (Elaborada pelo autor)

### 5.1.3 Cenário 3 – Trata-se do Cenário 2 acrescentado a construção de um novo almoxarifado AX-B unificado com o almoxarifado AX-A já existente.

Nessa modelagem, além da operação de transferência dos produtos de grande demanda descrita na sub-seção anterior, adotou-se a construção de um novo almoxarifado AX-B unificado ao almoxarifado AX-A, formando um grande almoxarifado de carregamento, além da implantação de duas novas balanças rodoviárias localizadas conforme mostrado na figura 20.

As modificações sugeridas pela modelagem do Cenário 3, mostrado na figura 20, objetivaram principalmente a redução do contra fluxo para caminhões a serem carregados no grande almoxarifado (AX-A unificado ao AX-B), e/ou na área de carregamento semi-contínuo, sem a necessidade desses caminhões retornarem para o ponto de pesagem (balança B2) próximo ao almoxarifado AX-PETRO, justificando tecnicamente a implantação das duas novas balanças rodoviárias.

O antigo almoxarifado AX-B deveria ser desativado para as funções/operações de carregamento, cumprindo somente funções de armazenamento de material.

O resultado quantitativo desse cenário em relação aos números que compõem o índice de contra fluxo trazem  $P_P = 1.193$ ;  $P_Q = 413$  e  $P_{VI} = 1.519$ , também são mostrados na figura 20.

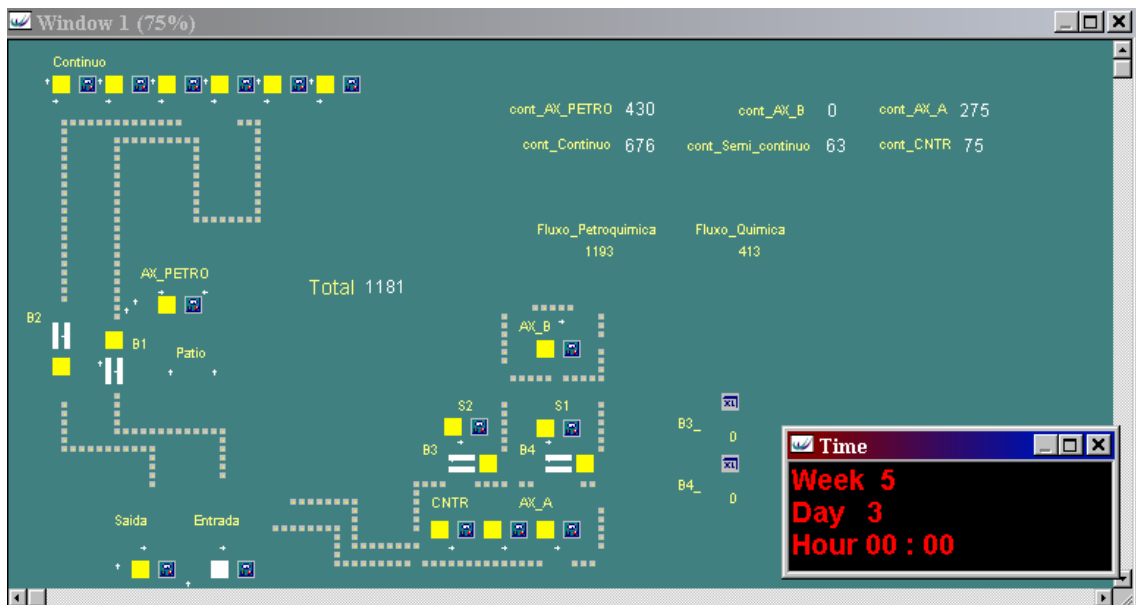


Figura 20: Modelagem da proposta de construção do novo AX-B unificado ao AX-A (Elaborada pelo autor)

#### 5.1.4 Cenário 4 - Trata-se do Cenário 2 acrescentado a construção de um novo almoxarifado AX-B separado do almoxarifado AX-A já existente;

Essa modelagem difere da anterior apenas no que diz respeito ao arranjo do novo almoxarifado AX-B. A diferença nesse arranjo visa principalmente melhorar a operação de carregamento de cargas em *container*, uma vez que foi contemplada uma rua específica para acesso e carregamento desses caminhões ao lado do novo almoxarifado AX-B. Outra alteração diz respeito a localização de uma das duas novas balanças rodoviárias implantadas. Tais modificações no *layout* proposto por essa modelagem podem ser verificadas na figura 21.

Da mesma forma que a modelagem anterior, as modificações sugeridas nessa modelagem objetivam principalmente a redução do contra fluxo para caminhões a serem carregados no novo almoxarifado AX-B e no almoxarifado AX-A, e/ou na área de carregamento semi-continuo, sem a necessidade desses caminhões retornarem para o ponto de pesagem (balança

B2) próximo ao AX-PETRO, justificando tecnicamente, mais uma vez, a implantação das duas novas balanças rodoviárias.

Também neste caso, o antigo AX-B deveria ser desativado para as funções/operações de carregamento, passando a cumprir somente funções de armazenamento de material.

O resultado quantitativo desse cenário em relação aos números que compõem o índice de contra fluxo trazem  $P_P = 1.264$ ;  $P_Q = 413$  e  $P_{VI} = 1.519$ , conforme mostrado na figura 21.



Figura 21: Modelagem da proposta de construção do novo AX-B separado do AX-A com transferência de produtos. (Elaborada pelo autor)

### 5.1.5 Cenários 5 e 6 – Tratam-se dos Cenário 3 e 4 sem a transferência do produtos de grandes demanda.

Como alternativa aos itens 9.4.2 e 9.4.3 foram feitas as mesmas modelagens, porém não foi efetuada a transferência dos produtos de grande demanda da área de carregamento semi-contínuo para a área de carregamento contínuo. O intuito dessas duas modelagens adicionais foi verificar a real necessidade da transferência dos produtos, uma vez que as modificações nos almoxarifados e nos carregamentos já tinham sido feitas. A necessidade dessa constatação deveu-se principalmente ao aspecto financeiro, uma vez que as linhas (tubulações) e as facilidades (equipamentos) para transferir os produtos, tratam-se de linhas especiais produzidas em aço inox de elevado custo.

Da mesma maneira como foi mostrado para os outros cenários, segue dados quantitativos respectivamente dos cenários 5 e 6, conforme pode ser observado nas figuras 22 e 23, a saber:

- a. Cenário 5 -  $P_P = 1.243$ ;  $P_Q = 579$  e  $P_{VI} = 1.495$ ;
- b. Cenário 6 -  $P_P = 1.403$ ;  $P_Q = 579$  e  $P_{VI} = 1.495$ ;



Figura 22: Modelagem da proposta de construção do novo AX-B junto do AX-A sem transferência de produtos. (Elaborada pelo autor)



Figura 23: Modelagem da proposta de construção do novo AX-B separado do AX-A sem transferência de produtos. (Elaborada pelo autor)

## 5.2 Análise Técnica das Situações Propostas

### 5.2.1 Metodologia Aplicada

Para a análise técnica das situações propostas foi estabelecido o ICF (Índice de Contra Fluxo) do qual a metodologia para sua obtenção já foi explicada no Capítulo 3 – Metodologia de Trabalho, seção 3.4.

### 5.2.2 Resultados Obtidos

A tabela 4 mostra os resultados obtidos do ICF (Índice de Contra Fluxo) para cada uma das alternativas propostas:

| Cenário | Nome da Modelagem                            | Nº Passagens Ponto A | Nº Passagens Ponto B | Nº Ideal Passagens | ICF  |
|---------|--|----------------------|----------------------|--------------------|------|
| 1       | Situação Atual (Real)                        | 1.826                | 645                  | 1.448              | 1,71 |
| 2       | Situação Atual (Real) com Transferência      | 1.625                | 444                  | 1.394              | 1,48 |
| 3       | Novo AX-B Unificado com AX-A + Transferência | 1.193                | 413                  | 1.519              | 1,06 |
| 4       | Novo AX-B Separado de AX-A + Transferência   | 1.264                | 413                  | 1.519              | 1,10 |
| 5       | Novo AX-B Unificado com AX-A                 | 1.243                | 579                  | 1.495              | 1,22 |
| 6       | Novo AX-B Separado de AX-A                   | 1.403                | 579                  | 1.495              | 1,33 |

Tabela 4: Índices de Contra Fluxo para as modelagens. (Elaborada pelo autor)

De acordo com a tabela 4, chega-se a conclusão que a melhor alternativa técnica em relação ao ICF foi a apresentada pelo Cenário 3 (ICF=1,06), que propôs a construção de um novo almoxarifado AX-B unificado com o almoxarifado AX-A ao mesmo tempo em que se deveria realizar a transferência dos produtos Renex 60, Renex 95, Renex 100, Unitol L/20 e Ultramine 200 (produtos de grande demanda) da área de carregamento semi-contínuo para a área de carregamento contínuo. Vale ressaltar que em nenhum momento o enfoque desse trabalho se voltou para o aumento do número de caminhões carregados mensalmente, bem como em relação ao tempo de permanência destes no interior da ABC. Em todas as modelagens foi preservado o número total de caminhões (dado estatístico fornecido pela ABC) que eram, em média, carregados mensalmente.

### **5.3 Apresentação dos Resultados e Implementação**

Este item contempla a forma de apresentação dos resultados dirigidos à organização. O objetivo principal foi apresentar os resultados obtidos com o projeto de simulação como suporte à tomada de decisão.

A apresentação dos resultados envolveu uma introdução sobre o projeto desenvolvido com a descrição de seus objetivos e principais elementos do modelo. A análise da performance e capacidade da situação atual (real), bem como a identificação das restrições de capacidade do sistema e as potencialidades de melhorias no processo foram apresentadas através dos resultados obtidos na simulação dos cinco cenários desenvolvidos como otimização do cenário 1.

Lançando mão mais uma vez da metodologia proposta por Law & Kelton (1991), vale frisar que um projeto de simulação não é feito com a intenção de dar “a melhor solução”. São apresentadas alternativas de otimização do processo para que os tomadores de decisão, baseados em aspectos de custo, nível de serviço, segurança, questões estratégicas, dentre vários outros aspectos, decidam que alternativa adotar. No caso em questão optou-se pelo Cenário 3 e como complemento ao estudo de simulação desenvolvido, foi solicitado a equipe de analistas a consecução de um projeto básico relacionando os custos envolvidos na alternativa escolhida. Apesar de não ser o foco desse trabalho, vale destacar que se tratou de um projeto da ordem de R\$3 milhões, portanto, mais uma vez justifica-se a adoção da ferramenta computacional de simulação como elemento de apoio à tomada de decisão.

A implementação física da alternativa escolhida ficaria a carga de uma empresa de montagem industrial que seria contratada pela ABC.

## **6 CONCLUSÕES DO ESTUDO**

Este capítulo apresenta as principais conclusões do trabalho, identificando os benefícios práticos e teóricos. Além disso, são descritas as principais potencialidades do uso da ferramenta de simulação computacional identificadas ao longo do estudo. Por fim, apresentam-se as limitações encontradas e propostas para realização de estudos futuros.

O principal objetivo deste estudo foi analisar as potencialidades e vantagens do uso da modelagem e simulação computacional como ferramenta de apoio à tomada de decisões em cenários logísticos complexos de organizações industriais. A identificação das potencialidades de uso da ferramenta, com o propósito acima descrito, foi obtida através do desenvolvimento de um estudo de caso em uma organização industrial baiana, a ABC Indústria Petroquímica. Acredita-se que o aprendizado ocorrido ao longo das atividades e os desdobramentos deste trabalho justificam a sua realização.

A importância deste estudo está na sistematização de situações de interesse em um meio computacional para, só após um entendimento sistêmico do problema, propor um plano de ação para obtenção de melhorias.

Uma das contribuições acadêmicas deste estudo está na geração de uma pesquisa científica no ambiente de logística industrial de movimentação e carregamento de produtos e na utilização da ferramenta de simulação neste tipo de organização e processo.

Ao final deste estudo ficou evidenciado que, para construção de um modelo de simulação é de fundamental importância a utilização de um método adequado de desenvolvimento de projetos, ou seja, que a construção do modelo de simulação esteja pautado por atividades sistemáticas e racionais que orientem a geração de resultados válidos e verdadeiros.

### **6.1 Avaliação do Projeto de Simulação Desenvolvido**

O modelo computacional construído para a ABC, apesar das simplificações a modelos de simulação conforme foi abordado na sub-seção 2.3.2, foi considerado validado para a representação do sistema real. A modelagem computacional do problema contribuiu para uma melhor compreensão do funcionamento do sistema em estudo, o que mostra a utilidade da ferramenta quando se trata com problemas complexos.

Assim, entende-se que os resultados apresentados no capítulo 5 trouxeram um avanço no entendimento do problema logístico da ABC. A possibilidade de entender o funcionamento do sistema e identificar as principais restrições para o seu desempenho constituiu-se em um significativo ganho para o grupo de trabalho auxiliando a tomada de decisão.

Outra vantagem identificada na modelagem utilizando a simulação foi a possibilidade de criar outros estudos com experimentos alternativos. Neste sentido, novos cenários foram criados e avaliados com a utilização do modelo computacional, o que permitiu avaliar o impacto de cenários que não podem ser testados no sistema real sem a realização física do investimento financeiro. Além disso, foram criados novos *insights* para projetos futuros, que exigem o desenvolvimento de novos modelos conceituais para ampliação do modelo computacional.

Como resultado do projeto de simulação o grupo identificou como potencial de melhoria a possibilidade de se transferir os produtos de grande demanda, conforme mostrado nos cenários 2, 3 e 4, instalar mais duas balanças rodoviárias na área de carregamento semi-contínuo. No que diz respeito a esse assunto, vale frisar que antes desse projeto de simulação, a ABC havia instalado duas balanças rodoviárias na área de carregamento contínuo por achar, baseada somente em *feeling*, que esse local seria um dos principais gargalos<sup>9</sup> do seu processo. Após a validação do modelo do sistema real, já com a ferramenta computacional de simulação, verificou-se que as balanças instaladas na área de carregamento contínuo em nada contribuíram para a melhoria do sistema, ou seja, o cenário era por demais complexo, para se tomar uma decisão baseada somente em parâmetros qualitativos. A ferramenta de simulação também viabilizou a criação do índice de contra-fluxo, pois a mesma serviu como um contador para a contabilização das “passagens” dos caminhões nos pontos estabelecidos e assim determinar um parâmetro de comparação entre os modelos/cenários criados.

A ferramenta de simulação permitiu ainda a rápida variação de cenários alternativos derivados do Cenário 1 – Situação real. Essa condição seria praticamente impossível no mundo real.

Todas as variações realizadas nos cenários (modelos) propostos e o leque de possibilidades criados, só foram possíveis de acontecer justamente pelo fato de se trabalhar em um ambiente simulação.

---

9. Gargalos - é qualquer coisa que limita um sistema em conseguir maior desempenho em relação a sua meta. Goldratt, Eliyahu M. A Meta



Segundo Deming (1989) citado por Harrell (2002) et al, “o gerenciamento de um sistema é uma ação baseada em previsão. A previsão racional requer aprendizado e comparações sistemáticas das previsões dos resultados de curto e longo prazo das alternativas de ação”. A modelagem e simulação computacional é utilizada para testar essas alternativas de ação antes de colocá-las em prática e/ou de se fazer um investimento. Pode-se ousar em afirmar que a modelagem e simulação computacional é uma ferramenta utilizada para a previsão de ocorrências futuras.

## **6.2 Avaliação do Estudo Realizado**

A elaboração e a execução deste projeto trouxeram alguns benefícios, tais como:

- a) o estudo permitiu que se lançasse a primeira “semente” para despertar o interesse da utilização da ferramenta de simulação na organização em estudo. Identificou-se a partir deste projeto inicial, diversas aplicações da simulação tanto nas operações de carregamento e expedição de caminhões, como nas próprias operações de produção da fábrica.
- b) o modelo construído neste trabalho também poderá ser utilizado como exemplo da potencialidade do uso da ferramenta de simulação para a organização em projetos de viabilidade para aquisição deste tipo de ferramenta.
- c) o estudo permitiu um melhor entendimento do funcionamento das operações de carregamento e expedição de produtos objeto de estudo do trabalho.
- d) possibilidade de analisar novos sistemas. Durante a execução do projeto o grupo de trabalho começou a levantar possíveis aplicações da simulação na empresa, percebendo as vantagens que ela poderia trazer em vários pontos não só da logística interna a fábrica, como também as atividades de produção.
- e) o estudo permitiu que se entendesse melhor a aplicabilidade da ferramenta de simulação computacional na organização em estudo.

### 6.3 Potencialidades e Vantagens do Uso da Ferramenta de Simulação Computacional

Para efeitos deste trabalho, as principais potencialidades da simulação foram:

- a) contribuiu como instrumento de aprendizagem e tomada de decisões sobre a realidade organizacional, uma vez que a simulação permite experimentações em um mundo virtual. Isto possibilitou ao grupo testar e mudar seus pressupostos e compreensão do mundo real, aprimorando sua aprendizagem.
- b) a simulação computacional mostrou-se útil na criação de novos conceitos a respeito das relações entre os elementos do sistema estudado e adequada para a análise de diferentes cenários e políticas operacionais, além de auxiliar de maneira eficiente na aquisição de conhecimento individual sobre o sistema logístico simulado. Tais afirmações podem ser observadas através da maneira como a simulação da ABC foi capaz de transformar um problema não estruturado em uma fonte poderosa de conhecimento. As idéias para melhoria do sistema foram traduzidas em mudanças específicas visando a otimização dos sistema real. Essas mudanças, e seus efeitos, permitiram a aquisição de conhecimento sobre o sistema;
- c) minimização dos riscos envolvidos nas modificações dos processos, pois a simulação permite testes de várias alternativas antes de efetivá-las física e financeiramente. Nos sistemas reais, além de muito dispendiosas, essas modificações podem trazer riscos relacionados a segurança do sistema;
- d) percebeu-se que o *trade-off* custo/benefício existente na implantação e/ou aquisição de serviços de modelagem e simulação computacional foi positivo, justamente pelo fato do sistema estudado ter um nível de complexidade alto. Nesse aspecto, chegou-se a conclusão que a viabilidade de utilização de modelagem e simulação computacional é diretamente proporcional a complexidade dos sistemas;
- e) um dos maiores benefícios obtidos pelo usuário do modelo ao aplicar a simulação a um sistema logístico é uma melhor visão sistêmica do efeito que alterações locais terão sobre o desempenho global do sistema. A reboque sua aplicação ao projeto e avaliação de sistemas logísticos traz benefícios como: maior eficiência na utilização de

recursos, redução de estoque em processo, maior velocidade e confiabilidade de entrega, menores custos operacionais etc.

- f) quanto à utilização da ferramenta no processo carregamento e expedição de produtos em caminhões pode-se destacar o aprendizado das pessoas envolvidas no processo estudado, principalmente por ter acesso de uma maneira mais aprofundada das inter-relações existentes entre as diversas entidades que compunham o modelo do sistema real, ou seja, ficaram mais tangíveis as conseqüências geradas por modificações realizadas no processo. Várias outras melhorias já foram citadas no item 6.1.
- g) não só utilizar a simulação para a solução de um problema local, mas para ampliar o sistema de análise, partindo para a análise de outros processos da empresa de forma sistêmica.
- h) benefícios relacionados a “capacidade de imitação”, que pode ser medida pelo grau de adequação das respostas reais de um sistema existente ou hipotético com as respostas que o modelo fornece quando é submetido aos mesmos estímulos experimentados ou esperados pelo sistema em estudo;
- i) levam em conta o impacto dos processos estocásticos que existem em quase todos os sistemas do mundo real;
- j) outra grande vantagem observada refere-se à capacidade do modelo de simulação de comprimir o tempo e o espaço, permitindo a tomadores de decisão conhecer, em pouco tempo, as conseqüências de longo prazo concernentes às suas ações e ao sistema como um todo
- k) possibilidade de testar, de maneira rápida, cenários futuros sem a necessidade de investimentos reais. Isso pode se caracterizar como uma vantagem competitiva em ambientes de competição acirrada e que exigem respostas rápidas e eficientes;
- l) o ditado “Uma imagem fala mais que mil palavras” é um bom exemplo para enfatizar a diferença existente entre a capacidade de comunicação das análises estáticas e a simulação. Por conseguinte, devido a todos os recursos visuais e virtuais existentes nas ferramentas de modelagem e simulação computacional, pode-se considerar uma vantagem significativa o uso desse recurso para um melhor entendimento do sistema real como um todo.

Por fim, entende-se que Unidades Industriais similares a ABC apresentam um grande potencial para o desenvolvimento de projetos de simulação, pois em sua grande maioria ocorrem processos com altos níveis de complexidade a serem controlados, geridos e desenvolvidos. Tal constatação deve-se, principalmente, a disponibilidade de dados existente em tais organizações. Normalmente os projetos de simulação encontram como limitador a etapa de coleta de dados, os quais muitas vezes são inexistentes ou acabam por incrementar sobremaneira o tempo de desenvolvimento do projeto. Porém, nesses tipos de organização industriais, similares a estudada nesse trabalho, é comum o armazenamento em bancos de dados da “vida estatística” da empresa, assim sendo, a coleta de dados se torna bastante facilitada.

#### **6.4 Limitações do Trabalho e Proposta para Estudos Futuros**

Pode-se elencar algumas limitações acerca do trabalho proposto e poder-se-ia iniciar ressaltando a pouca bibliografia existente, principalmente em língua portuguesa e que contenham estudos de casos com organizações empresariais brasileiras.

Esse trabalho foi limitado ao estudo de caso de uma organização industrial baiana em específico, porém, a aplicação dos resultados gerados, principalmente as conclusões acerca da modelagem e simulação computacional como uma ferramenta de auxílio ao processo decisório nas organizações pode ser extrapolado para qualquer segmento, seja industrial, comercial, de serviços, entre outros.

Face ao objetivo proposto pelo trabalho, foi estudado um modelo de simulação com as características mostradas na figura 9. No entanto, tem-se a ciência de que várias outras combinações podem ser alvo de estudos complementares, conforme pôde se verificar na sub-seção 2.3.6.

Com base nos conhecimentos adquiridos pela elaboração desta dissertação são apresentadas a seguir algumas propostas para desenvolvimento de trabalhos futuros, a saber:

- a) Desenvolvimento de projetos de simulação computacional para análise sistêmica dos processos existentes em uma Unidade Industrial Petroquímica, envolvendo não só questões relacionadas a logística, como também as relacionadas a produção, uma vez que esse trabalho não se preocupou com a disponibilidade dos produtos e o seu impacto direto na sua distribuição;

- b) Aplicação de modelos de simulação computacional junto aos sistemas de gestão integrada (ERP – *Enterprise Resources Planning*), de forma a permitir a visualização das atividades em tempo real integrado aos indicadores gerenciais da organização. A possibilidade de se combinar um simulador a um sistema de gestão como um ERP (*Enterprise Resources Planning*) ou um WMS (*Warehouse Management System*) permitiria mostrar com acurácia o impacto financeiro no operacional, das modelagens criadas;
- c) Utilização de outras formas de aprendizado que atuem sinergicamente com a simulação computacional, como por exemplo, a utilização das ferramentas do pensamento sistêmico<sup>10</sup>.

---

10. *Pensamento Sistêmico: de uma forma geral, pode ser definido como uma nova forma de percepção da realidade. Segundo Capra (1996) citado por Borges (2000), quanto mais são estudados os problemas de nossa época, mais se percebe que eles não podem ser entendidos isoladamente. São problemas sistêmicos, o que significa que estão interligados e são interdependentes. Deve-se sempre partir do princípio de que o todo é mais que a soma das partes, tendo desta forma o sistema como um todo integrado cujas propriedades essenciais surgem das inter relações entre suas partes. Entender a realidade sistemicamente significa, literalmente, colocá-la dentro de um contexto e estabelecer a natureza de suas relações).*

## **REFERÊNCIAS**

ANDRADE, Aurélio L. **Aprendizagem e desenvolvimento organizacional: uma experiência com o modelo da Quinta Disciplina**. Dissertação de Mestrado, Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998.

BALLOU, Ronald H. **Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física**. São Paulo: Atlas, 1993.

BANKS, J.; CARSON II, J.S.; NELSON, B.L. **Discrete-event system simulation**. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996.

BARBOSA, W. do V. **Tempos pós-modernos**. In: LYOTARD, J-F. O pós-moderno. Rio de Janeiro: J. Olympio, 1986. p. vii-xviii.

BARRÔNIO, Sidnei. **Desenvolvimento de modelos de simulação computacional para análise e melhorias de sistemas produtivos**. Dissertação de Mestrado, Porto Alegre: Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

BATEMAN, Robert E. et al. **System improvement using simulation**. Promodel corporation, 1997.

BOBLITZ, G. **Simulation eliminates need for an \$80,000 machine and conveyor investment**. Industrial Engineering. Mar, 1991, p. 26-28.

BORBA, Gustavo S. **Desenvolvimento de uma abordagem para inserção da simulação no setor hospitalar de Porto Alegre**. Dissertação de Mestrado, Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998.

BORGES, M. A. V. **Análise da potencialidade de sinergia entre o pensamento sistêmico e a simulação computacional**. Dissertação de Mestrado, Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

BOWERSOX, Donald J. **Logistical Management: a systems integration of physical distribution, manufacturing support, and materials procurement.** 3° ed. New York: Macmillan Publishing Company, 1986.

BRAGA, Juçara. **Copersucar reduz custos com simulação.** Revista Tecnológica. Fevereiro 1999, p16-18.

CASSEL, Ricardo Augusto. **Desenvolvimento de uma abordagem para a divulgação da simulação no setor calçadista gaúcho.** Dissertação de Mestrado, Porto Alegre: Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996.

CHING, Homg Yuh. **Gestão de estoque na cadeia de logística integrada: supply chain.** São Paulo: Atlas, 1999.

CHRISTOPHER, Martin. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégias para a redução de custos e melhorias dos serviços.** São Paulo: Pioneira, 1997.

COSTA, Cláudia, CONDE, William. **Simulação do centro de operações postais de Benfica.** Anais da 1° Conferência Latino Americana de Simulação e Usuários Promodel, Innovation 99. São Paulo, dezembro de 1999.

DAGANZO, Carlos F. **Logistics systems analysis: Lecture notes in economics and mathematical systems.** Berlin: Sringer-Verlag, 1991.

ELLENRIEDER, Alberto von. **Pesquisa operacional.** Rio de Janeiro: Almeida Neves Editores Ltda, 1971.

FACHIN, O. **Fundamentos de metodologia.** 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2001.

FERRARI, A. T. **Metodologia da ciência.** 3. ed. Rio de Janeiro: Kennedy, 1974.

FUSCO, A. C. **Hospital Albert Einstein: Usamos e aprovamos o Medmodel.** Boletim Fluxus – Boletim informativo da Promodel. São Paulo, n°1, 1997.

GAVIRA, M. O. **Simulação Computacional como uma Ferramenta de Aquisição de Conhecimento.** 2003. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

GOMES, L.; ARAYA, M.; CARIGNANO, C. **Tomada de Decisões em Cenários Complexos**. São Paulo: Thomson, 2004.

HALL, Randolph W. **Research opportunities in logistics**. *Transportation Research – A*. Vol. 19A, n° 5/6, pp. 399-402, 1985.

HARRELL, C.; MOTT, J.; BATEMAN, R.; BOWDEN, R.; GOGG, T. **Simulação: Otimizando Sistemas**. São Paulo. Instituto IMAM, 2002.

LACERDA, Leonardo, RODRIGUES, A. M. **Aplicação da técnica de simulação na alocação de containers**. Publicação do Centro de Estudos em Logística, Rio de Janeiro, 1998. <http://www.coppead.ufrj.br/pesquisa/cel/new/fs-public.htm>

LAKATOS, E. M., MARCONI, M. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 1991.

LAMBERT, D.M., et al. **Administração estratégica da logística**. São Paulo: Vantine Consultoria, 1998.

LAW, A. M. & KELTON, W. D. **Simulation Modeling & Analysis**. McGraw-Hill Books, NY, Second Edition, 1991.

LEPIKSON, H. A. **SOMA – Sistema Orgânico de Manufatura Autônoma: uma nova abordagem distribuída para o gerenciamento do chão de fábrica**. 1998. 273 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

LIMA, Maurício P. **Custos Logísticos na Economia Brasileira**. Publicação do Centro de Estudos em Logística, Rio de Janeiro, 2006. <http://www.cel.coppead.ufrj.br/art>

LOBÃO, Elírio de Carvalho, PORTO, Arthur José Vieira. **Evolução das técnicas de simulação em acordo com a tecnologia**. Anais do 15º ENEGEP. Outubro 1996, Piracicaba, SP.

LOPES, André. **Avaliação de capacidade de fluxo: sistema de armazenagem automático**. Anais da 1º Conferência Latino Americana de Simulação e Usuários Promodel, Innovation 99. São Paulo, dezembro 1999.



MEDEIROS, Otoniel Marcelino. **Pesquisa operacional**. Revista da ETRN. Natal, ano 12, v.2, p.53-60, 2000.

NAYLOR, T.H. et al. **Técnicas de simulação em computadores**. São Paulo: Editora Vozes, 1971.

NOVAES, Antônio Galvão. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição**. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

PEGDEN et al. **Introduction to simulation using SIMAN**. São Paulo: Ed. McGraw Hill, 1990.

PIDD, Michael. **Modelagem empresarial: ferramentas para tomada de decisão**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

RIPOLL, Geraldo Panitz. **Desenvolvimento de um modelo de simulação para dimensionamento de equipe polivalente de manutenção da produção: uma abordagem estratégica**. Programa de Pós-Graduação em Administração/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998.

RODRIGUES, Alexandre Medeiros, SALIBY, Eduardo. **A aplicação da simulação no dimensionamento de bases de distribuição de combustíveis**. Publicação do Centro de Estudos em Logística, Rio de Janeiro, 1998. [www.coppead.ufrj.br/pesquisa/cel/new/fs-public.htm](http://www.coppead.ufrj.br/pesquisa/cel/new/fs-public.htm)

RODRIGUES, Luís Henrique. **Developing an approach to help companies synchronise manufacturing**. Tese de doutorado, Department of Management Science University of Lancaster, UK, 1994.

SALIBY, E. **Repensando a simulação: a amostragem descritiva**. São Paulo: Atlas, 1989.

SANTOS, J. F. dos. **O que é pós-moderno**. 8. ed. São Paulo: Brasiliense, 1990.

SELLITTO, M. A. **Uma aplicação da programação linear em serviços: aumentando o ganho em transportes**. Disponível em: <[http://www.intercorp-consultoria.com.br/materia.asp?cod\\_not=755&cod\\_area=3&m=s](http://www.intercorp-consultoria.com.br/materia.asp?cod_not=755&cod_area=3&m=s)> Acesso em: 17 março 2002.

SHANNON, R.E. **Systems simulation: the art and science**. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1975.

SILVA, E. L. da; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 2. ed. revisada. Florianópolis: Laboratório de Ensino à Distância, 2001.

SIMON, Herbert A. **Comportamento Administrativo: estudo dos processos decisórios nas organizações administrativas**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1965.

TAKAKUWA, Soemon, ITO, Kumiko, TAKIZAWA, Hiroki, HIRAOKA, Shinichiro. **Simulation and analysis of non-automated distribution warehouses**. In Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference, eds. J.A. Joines, R.R. Barton, K. Kang e P.A. Fishwick, 1177-1184, 2000.

TRIPODI, T. et al. **Análise da pesquisa social: diretrizes para o uso da pesquisa em serviço social e em ciências sociais**. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1981.

YIN, R. K. **The case study crisis: some answers**. Administrative Science Quarterly. Cornell University. V. 26, março de 1981.

## **ANEXOS**

## Anexo I

# ABC

*Indústria Petroquímica Ltda*

### ATA DE REUNIÃO

| <b>DATA:</b> 07/10/02     |  | <b>LOCAL:</b> CAMAÇARI |  | <b>POR:</b><br>MENDES |          |
|---------------------------|--|------------------------|--|-----------------------|----------|
| <b>ASSUNTO:</b>           |  |                        |  |                       |          |
| <b>PARTICIPANTES</b>      |  | <b>ÁREA</b>            |  | <b>PARTICIPANTES</b>  |          |
| MENDES                    |  | ABC                    |  |                       |          |
| RICARDO                   |  | ABC                    |  |                       |          |
| NESTOR                    |  | CIMATEC                |  |                       |          |
| LEONARDO                  |  | CIMATEC                |  |                       |          |
|                           |  |                        |  |                       |          |
| <b>C/C:</b> PARTICIPANTES |  |                        |  |                       |          |
| <b>PAUTA:</b>             |  |                        |  |                       |          |
| ITEM                      | DESCRIÇÃO  |                        |  | RESP.                 | PRAZO    |
| 01                        | Apresentado ao pessoal do "CIMATEC" o propósito de realização do estudo para proposição de mudança no atual Layout da unidade , visando a melhoria no atual fluxo de expedição de produtos etoxilados.   |                        |  | Ricardo               |          |
| 02                        | Comentado sobre o fluxo atual de movimentação de produtos envasados em tambores e granel , situando as principais instalações de recebimento e expedição da unidade.   |                        |  | Ricardo /<br>Mendes   |          |
| 03                        | Ressaltado que a preocupação atual diz respeito ao fluxo de veículos nas proximidades das unidades produtivas, destacando-se as operações realizadas no lado norte do almoxarifado AX-B.   |                        |  | Ricardo /<br>Mendes   |          |
| 04                        | Como suporte para preparação de uma proposta Técnica Comercial, a ABC deverá dispor das seguintes informações:<br>Desenhos dos almoxarifados AX-A, AX-B.<br>Levantamento das movimentações efetuadas com, com seu perfil de distribuição no maior detalhamento possível. |                        |  | Ricardo /<br>Mendes   | 14/06/03 |

## Anexo II

### Tempos de Carregamento (minutos)

| Rotas                         | Atual          | Com B3         | % Dif,        | Com Transf     | % Dif,        |
|-------------------------------|----------------|----------------|---------------|----------------|---------------|
| AX_A_                         | 114,13         | 114,18         | 0,04%         | 115,45         | 1,14%         |
| AX_A_01                       | 128,17         | 134,07         | 4,40%         | 132,75         | 3,45%         |
| <b>AX_A_</b>                  | <b>121,15</b>  | <b>124,125</b> | <b>2,22%</b>  | <b>124,1</b>   | <b>2,30%</b>  |
| AX_A_AX_B                     | 122,42         | 121,71         | -0,58%        | 122,31         | -0,09%        |
| AX_A_AX_B_1                   | 126,58         | 131,28         | 3,58%         | 137,43         | 7,89%         |
| <b>AX_A_AX_B</b>              | <b>124,5</b>   | <b>126,495</b> | <b>1,50%</b>  | <b>129,87</b>  | <b>3,90%</b>  |
| AX_B_                         | 127,76         | 128,39         | 0,49%         | 134,28         | 4,86%         |
| <b>AX_B_</b>                  | <b>127,76</b>  | <b>128,39</b>  | <b>0,49%</b>  | <b>134,28</b>  | <b>4,86%</b>  |
| AX_PETRO_                     | 114,04         | 111,93         | -1,89%        | 106,23         | -7,35%        |
| AX_PETRO_1                    |                |                |               | 141,09         |               |
| <b>AX_PETRO_</b>              | <b>114,04</b>  | <b>111,93</b>  | <b>-1,89%</b> | <b>123,66</b>  | <b>-7,35%</b> |
| AX_PETRO_AX_A                 | 119,56         | 120,21         | 0,54%         | 120,71         | 0,95%         |
| AX_PETRO_AX_A_1               | 126,18         | 127,52         | 1,05%         | 135,55         | 6,91%         |
| <b>AX_PETRO_AX_A</b>          | <b>122,87</b>  | <b>123,865</b> | <b>0,80%</b>  | <b>128,13</b>  | <b>3,93%</b>  |
| AX_PETRO_AX_A_AX_B            | 130,14         | 130,86         | 0,55%         | 126,24         | -3,09%        |
| AX_PETRO_AX_A_AX_B_1          | 137,41         | 136,76         | -0,48%        | 137,09         | -0,23%        |
| <b>AX_PETRO_AX_A_AX_B</b>     | <b>133,775</b> | <b>133,81</b>  | <b>0,04%</b>  | <b>131,665</b> | <b>-1,66%</b> |
| AX_PETRO_AX_B                 | 125,79         | 124,84         | -0,76%        | 129,87         | 3,14%         |
| AX_PETRO_AX_B_1               | 136,99         | 140,25         | 2,32%         | 141,34         | 3,08%         |
| <b>AX_PETRO_AX_B</b>          | <b>131,39</b>  | <b>132,545</b> | <b>0,78%</b>  | <b>135,605</b> | <b>3,11%</b>  |
| Continuo_                     | 88,22          | 85,96          | -2,63%        | 92,22          | 4,34%         |
| Continuo_1                    |                |                |               | 120,88         |               |
| <b>Continuo_</b>              | <b>88,22</b>   | <b>85,96</b>   | <b>-2,63%</b> | <b>106,55</b>  | <b>4,34%</b>  |
| Continuo_Semicontinuo_        | 139,61         | 134,96         | -3,45%        | 137,9          | -1,24%        |
| <b>Continuo_Semicontinuo_</b> | <b>139,61</b>  | <b>134,96</b>  | <b>-3,45%</b> | <b>137,9</b>   | <b>-1,24%</b> |
| Semicontinuo_                 | 124,49         | 122,84         | -1,34%        | 125,71         | 0,97%         |
| Semicontinuo_1                | 124,73         | 125,39         | 0,53%         | 133,3          | 6,43%         |
| <b>Semicontinuo_</b>          | <b>124,61</b>  | <b>124,115</b> | <b>-0,41%</b> | <b>129,505</b> | <b>3,70%</b>  |
| Semicontinuo_misto            | 136,05         | 135,78         | -0,20%        | 137,45         | 1,02%         |
| Semicontinuo_misto1           |                |                |               | 157,52         |               |
| <b>Semicontinuo_misto</b>     | <b>136,05</b>  | <b>135,78</b>  | <b>-0,20%</b> | <b>147,485</b> | <b>1,02%</b>  |
| TEQUIMAR                      | 80,34          | 79,91          | -0,54%        | 84,77          | 5,23%         |
| TEQUIMAR_1                    | 101,78         | 97,41          | -4,49%        | 103,25         | 1,42%         |
| <b>TEQUIMAR</b>               | <b>91,06</b>   | <b>88,66</b>   | <b>-2,51%</b> | <b>94,01</b>   | <b>3,32%</b>  |











## Anexo IV

### ÁREA DE CARREGAMENTO CONTÍNUO

#### Tipos de Produtos por Ilha de Carregamento

| Ilha 01 |         |           |
|---------|---------|-----------|
| Válvula | Produto | Tanque    |
| Medidor | MEG-GF  | F-2101/02 |
|         |         |           |
|         |         |           |
|         |         |           |
|         |         |           |
|         |         |           |
|         |         |           |
|         |         |           |
|         |         |           |
|         |         |           |

| Ilha 02 |         |           |
|---------|---------|-----------|
| Válvula | Produto | Tanque    |
| Medidor | MEG-GF  | F-2101/02 |
|         | TEA-85  | F-2120    |
|         | TEA-99  | F-2130/40 |
|         | MEA     | F-2160    |
|         |         |           |
|         |         |           |
|         |         |           |
|         |         |           |
|         |         |           |
|         |         |           |

| Ilha 03 |         |           |
|---------|---------|-----------|
| Válvula | Produto | Tanque    |
| Medidor | MEG-GF  | F-2101/02 |
|         | TEA-85  | F-2120    |
|         | TEA-99  | F-2130/40 |
|         | MEA     | F-2160    |
| Medidor | DEA W   | F-2170/90 |
| Medidor | TEA-99W | F-2130/40 |
| HV3233  | EBMEG   | F-2106A/B |
|         | EMMEG   | F-1912A/B |
|         |         |           |
|         |         |           |
|         |         |           |
|         |         |           |

| Ilha 04   |         |           |
|-----------|---------|-----------|
| Válvula   | Produto | Tanque    |
| Medidor   | MEG-GF  | F-2101/02 |
|           | DEG     | F-2103    |
|           | EBDEG   | F-2107    |
|           | EMMEG   | F-2110    |
| HV3224    | MTG     | F-2109    |
| HV3234/04 | EBMEG   | F-2106A/B |
|           |         |           |
|           |         |           |
|           |         |           |
|           |         |           |
|           |         |           |

| Ilha 05 |         |           |
|---------|---------|-----------|
| Válvula | Produto | Tanque    |
| Medidor | MEG-GF  | F-2101/02 |
|         | EBMEG   | F-2106A/B |
|         | DEG     | F-2103    |
|         | RESÍDUO | F-2105    |
|         | EBTEG   | F-2111    |
| HV3205  | DEA     | F-2170/90 |
|         | MEG-GI  | F-2113    |
|         |         |           |
|         |         |           |
|         |         |           |
|         |         |           |

| Ilha 06 |            |           |
|---------|------------|-----------|
| Válvula | Produto    | Tanque    |
| Medidor | EBMEG      | F-2106A/B |
|         | DEG        | F-2103    |
|         | TEG        | F-2104    |
|         | EBDEG      | F-2107    |
| Medidor | EBTEG      | F-2108    |
| Medidor | MTG        | F-2109    |
| HV3233  | DEG-GI     | F-2112    |
|         | MEG-GI     | F-2113    |
|         | DEA        | F-2170/90 |
|         | TEA-D      | F-2203A   |
|         | ULT. RE 60 | F-850     |
|         |            |           |
|         |            |           |