

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ESCOLA DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

***Análise das potencialidades do uso da ferramenta de
simulação computacional em operações logísticas:
estudo de caso em um armazém geral***

Luciane Xerxenevsky Bergue

Orientador: Prof. Dr. Luiz Afonso dos Santos Senna

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Porto Alegre, dezembro de 2000.

**Análise das potencialidades do uso da ferramenta de simulação computacional
em operações logísticas: estudo de caso em um armazém geral**

Luciane Xerxenevsky Bergue

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Luiz Afonso dos Santos Senna, Dr.

Orientador

Banca Examinadora:

Emílio Merino Dominguez
Prof. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP/UFRGS)

Helena Beatriz Bettella Cybis
Prof^a. Programa de Pós -Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP/UFRGS)

Maria Cleci Martins Carvalho
Prof^a. da ULBRA

Porto Alegre, dezembro de 2000.

Dedico este trabalho ao meu marido, Sandro Trescastro Bergue e aos nossos futuros filhos , aos meus pais, irmãos e demais familiares e ao meu padrinho de coração, Luiz Orlando Fração, com muito carinho. Agradeço a vocês por acreditarem, pelos valores, incentivos, força, confiança e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é resultado de muito esforço, luta, ideais, discussões, aprendizagem, cooperação e apoio de muitas pessoas e organizações. Nesta oportunidade faço questão de agradecer:

- ◆ *A Deus, pelas pessoas iluminadas colocadas em minha vida em momentos chave que viabilizaram este trabalho;*
- ◆ *Ao amigo Sidnei Barrônio, pelo incentivo, disponibilidade, discussões, contribuições, material bibliográfico, em fim, por ser iluminado.*
- ◆ *Aos colegas e amigos da turma de mestrado de 1998, Cíntia Paese, Cristiano Schuch, Cristina Dias Soares, Janaína Macke, Luís Filipe Trevisan, Renato Michel, Rodrigo Souto e Rogério Bañolas pelos momentos vividos ao longo destes anos e ao apoio incondicional, em especial a Marcelo Moutinho e Roberta Baleeiro de Sá Adami, pessoas iluminadas.*
- ◆ *Aos professores Luís Henrique Rodrigues, pelos ensinamentos em simulação computacional e contribuições amplas em minha formação, Aurélio Andrade, pelo entusiasmo e gosto despertados para o pensamento sistêmico e aprendizagem organizacional, José Francisco Kliemman, pelo apoio e força para recomeçar e Flávio Fogliatto pelo aprendizado em pesquisa operacional, material disponibilizado e pela seriedade e dedicação demonstrada em suas aulas.*
- ◆ *Ao professor colaborador Peter Hansen, pelos incentivos, sugestões, contribuições e pela atenção sempre disponibilizada em discutir meu trabalho.*
- ◆ *A todas as pessoas da empresa em que tive o prazer de trabalhar na elaboração do estudo de caso, pela disponibilidade, discussões e entusiasmo.*
- ◆ *Imensamente a acolhida que tive na empresa em que desenvolvi o estudo de caso, pela cultura de investimento em capital humano, pela abertura, incentivo e confiança.*
- ◆ *A UFRGS, pela qualidade do ensino público e gratuito em minha formação desde a graduação.*
- ◆ *Ao CNPQ, pelo incentivo à pesquisa através da concessão de bolsas de estudos;*
- ◆ *Ao professor orientador Luiz Afonso dos Santos Senna, pelos subsídios indispensáveis para a conclusão deste trabalho.*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABELAS.....	VIII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VIII
RESUMO.....	IX
ABSTRACT.....	X
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	11
1.1 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO.....	13
1.2 OBJETIVOS DO ESTUDO.....	14
1.2.1 <i>Objetivo Geral</i>	14
1.2.2 <i>Objetivo Específico</i>	14
1.3 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	14
1.4 ESTRUTURA DO ESTUDO.....	15
CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1 LOGÍSTICA.....	16
2.1.1 <i>Conceito de Logística</i>	17
2.1.2 <i>Evolução da Logística</i>	18
2.1.3 <i>Escopo da Logística</i>	19
2.2 ARMAZENAGEM.....	21
2.2.1 <i>Caracterização de Armazém Geral</i>	23
2.2.2 <i>Processo de Recebimento</i>	24
2.2.3 <i>Processo de Armazenagem</i>	25
2.2.4 <i>Processo de Expedição</i>	26
2.2.5 <i>Tecnologias Aplicadas</i>	26
2.3 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	28
2.3.1 <i>Sistemas e modelagem computacional</i>	29
2.3.2 <i>Conceito de Simulação Computacional</i>	30
2.3.3 <i>Vantagens e desvantagens do uso da simulação computacional</i>	31
2.3.4 <i>Aplicações da simulação computacional</i>	32
2.3.5 <i>Classificação dos modelos de simulação</i>	34
2.3.6 <i>Evolução dos software de Simulação Computacional</i>	37
2.3.7 <i>Software de Simulação Computacional utilizado</i>	39
CAPÍTULO 3 – MÉTODO DE TRABALHO.....	42
3.1 CLASSIFICAÇÃO DO ESTUDO.....	42
3.2 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS.....	42
3.3 ETAPAS DA PESQUISA.....	43
3.4 MÉTODO PARA DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	44
3.4.1 <i>Planejar o projeto de simulação</i>	45

3.4.2 Definir o sistema e o modelo conceitual	48
3.4.3 Construir o modelo computacional	49
3.4.4 Conduzir experimentos com o modelo	50
3.4.5 Analisar os resultados	51
3.4.6 Apresentar os resultados e implementar	52
CAPÍTULO 4 – ESTUDO DE CASO	53
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO ARMAZÉM GERAL.....	53
4.2 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE SIMULAÇÃO	55
4.2.1 Planejamento do projeto de simulação.....	55
4.2.2 Definição do Sistema e Modelo Conceitual	64
4.2.3 Construção do Modelo Computacional	68
4.2.4 Condução de Experimentos.....	71
CAPÍTULO 5 – ANÁLISE DA SIMULAÇÃO.....	76
5.1 RESULTADOS OBTIDOS COM A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	76
5.1.1 Apresentação e interpretação dos resultados.....	76
5.1.2 Oportunidades de Melhoria	85
5.2 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E IMPLEMENTAÇÃO.....	86
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES DO ESTUDO	87
6.1 AVALIAÇÃO DO PROJETO DE SIMULAÇÃO DESENVOLVIDO.....	88
6.2 AVALIAÇÃO DO ESTUDO REALIZADO	89
6.3 POTENCIALIDADES DO USO DA FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	89
6.4 PROPOSTA PARA ESTUDOS FUTUROS	90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Funções básicas de um armazém.....	24
Figura 2: Caminhos para estudar um sistema (Fonte: Law e Kelton, 1991).....	30
Figura 3: Base conceitual da simulação (fonte: Pidd 1998, p. 226).....	31
Figura 4: Classificação dos modelos de simulação (fonte: Barrônio, 2000).	35
Figura 5: Trade-off entre flexibilidade de modelagem e especialização do usuário na ferramenta (fonte: Rodrigues, 1994).....	38
Figura 6: Pacote Promodel.....	40
Figura 7: Método de condução do projeto de simulação (Fonte: Barrônio, 2000).	45
Figura 8: Árvore da Realidade Atual - ARA.....	46
Figura 9: Etapa de planejamento do projeto de simulação (Fonte: Barrônio, 2000).....	47
Figura 10: Etapa de definição do sistema (fonte: Barrônio, 2000).	48
Figura 11: Etapa de construção do modelo (Fonte: Barrônio, 2000).....	49
Figura 12: Etapa de conduzir experimentos com o modelo (adaptado de Barrônio, 2000).....	50
Figura 13: Etapa de análise dos resultados (Fonte: Barrônio, 2000).	51
Figura 14: Apresentar resultados e implementar (Fonte: Barrônio, 2000).....	52
Figura 15: Processo de expedição de mercadoria.....	56
Figura 16: Árvore da Realidade Atual - entendendo problemas da expedição.....	58
Figura 17: Fluxo de atividades da expedição.	59
Figura 18: Classificação do modelo de <i>apanha separação</i>	63
Figura 19: Modelo computacional.....	70
Figura 20: Indicador de eficácia de separação – comparação entre o sistema real e o cenário 1 ($r^2=0.9195$). 77	
Figura 21: Indicador Produtividade diária - comparação entre o sistema real e o cenário 1 ($r^2=0.9791$).....	78
Figura 22: Indicador Produtividade Horária - comparação entre o sistema real e o cenário 1 ($r^2=0.8750$).....	78
Figura 23: Indicador de eficácia de separação – cenário 2.....	79
Figura 24: Indicador Produtividade Diária - cenário 2.	79
Figura 25: Indicador de eficácia de separação – cenário 3.....	81
Figura 26: Indicador Produtividade Diária - cenário 3.	81
Figura 27: Indicador de eficácia de separação – cenário 4.....	82
Figura 28: Indicador Produtividade Diária - cenário 4.	82
Figura 29: Indicador de eficácia de separação – cenário 5.....	84
Figura 30: Indicador Produtividade Diária - cenário 5.	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Evolução da logística (adaptado de Novaes, 1999a).....	18
Tabela 2: Nova exigências e impactos operacionais na armazenagem	22
Tabela 3: Evolução dos sistemas de simulação (Adaptado de Lobão e Porto, 1996).	37
Tabela 4: Elementos da atividade de <i>apanha separação</i>	64
Tabela 5: Matriz de relacionamento - elementos do modelo e grau de atuação.	65
Tabela 6: Elementos de entrada do modelo.	67
Tabela 7: Elementos de resposta do modelo.....	67
Tabela 8: Elementos do modelo computacional.	68
Tabela 9: Cenários para simulação	74
Tabela 10: quadro resumos dos cenários - elementos de entrada.....	75
Tabela 11: Indicador de utilização de recursos e perdas do sistema – cenário 2.	80
Tabela 12: Indicador de utilização de recursos e perdas do sistema – cenário 3.	81
Tabela 13: Indicador de utilização de recursos e perdas do sistema – cenário 4.	83
Tabela 14: Indicador de utilização de recursos e perdas do sistema – cenário 5.	84
Tabela 15: Resumo do experimento realizado	85

LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO	OBS.
ARA	Árvore da Realidade Atual – ferramenta do Processo de pensamento da teoria das Restrições.
EDI	Troca eletrônica de dados - <i>Electronic Data Interchange</i>
FEFO	Regra de expedição de mercadoria – a primeira que expirar será a primeira a sair – <i>First Expired First Out</i>
FIFO	Regra de expedição de mercadoria – a primeira que entra será a primeira a sair – <i>First In First Out</i>
LIFO	Regra de expedição de mercadoria – a última a entrar será a primeira a sair - <i>Left In First Out</i>
PBR	Paleta PBR é o paleta padronizado nas dimensões 1,00x1,20.
SKU	<i>Stock Keeping Unit</i> - unidade ou item de produto em estoque
UMA	Unidade de Movimentação e Armazenagem no armazém.
WMS	<i>Warehouse Management System</i> – sistema de gerenciamento de armazém

RESUMO

Esta dissertação analisa potencialidades de uso da ferramenta de simulação computacional em atividades de um Armazém Geral. Para tanto, foi realizado um estudo de caso em um Armazém Geral onde se aplicou a ferramenta segundo o método de desenvolvimento de projetos de simulação computacional proposto por Barrônio (2000). O desenvolvimento do projeto de simulação foi, então, focado na atividade de *apanha separação*, integrante do sub-processo de separação de pedidos.

O substrato teórico utilizado envolve uma abordagem sobre a logística e caracterização de armazém geral, bem como uma revisão dos conceitos principais da ferramenta de simulação computacional.

No desenvolvimento da pesquisa, identificaram-se diversas aplicações da simulação tanto no armazém geral e terminais de cargas da empresa, quanto na análise da malha de rotas da empresa. A partir da análise dos resultados da simulação, em diversos cenários desenvolvidos e do entendimento sistêmico da situação em estudo, identificou-se como oportunidade de melhoria a definição de horários fixos de parada para descanso ao longo da jornada de trabalho na atividade de *apanha separação*.

O desenvolvimento do projeto de simulação computacional contribuiu como instrumento de aprendizagem e tomada de decisões sobre a realidade organizacional. Através de experimentação no modelo computacional o grupo de trabalho pôde testar e mudar seus pressupostos e sua compreensão do mundo real, aprimorando a aprendizagem.

Identificou-se ainda, que os armazéns gerais dotados de sistema de gerenciamento automatizado apresentam um grande potencial para desenvolvimento de projetos de simulação, principalmente, devido à disponibilidade de dados característicos destas organizações.

ABSTRACT

This dissertation analyses potential use of the computational simulation tool to improve warehouse activities. A case study has been done in a warehouse where the tool was applied according to a development method of computational simulation projects. The focus of simulation project was “*separation pick*” activities, that is part of the request separation sub process.

The theory utilized involves a logistics approach, a warehouse characterization and a computational simulation tool revision.

In the research development, several applications of the simulation were identified in the general warehouse and the terminals load enterprise, also in the enterprise routes trap analysis. As of the simulation results analysis in different developing sceneries, the fixed schedules of repose stop during a day’s work was identified as an improvement opportunity in the study system.

The development of the computational simulation project contributed as a tool to learn and take decisions about the organization reality. Besides the experimentation in the computational model, the work group could test and change the presupposes, and the real world comprehension, improving the learning.

It was identified that warehouses have automated management system show a great potential to a development of simulation projects, because dates disposability characteristic.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

O processo de transformação pelo qual passa a economia mundial, associado ao desenvolvimento de tecnologias e aos recursos disponíveis, estabeleceu novos níveis de competitividade nos diversos setores da economia. Neste cenário, as organizações buscam constantes aprimoramentos a fim de atingir melhores níveis de desempenho e, por conseguinte, sua permanência no mercado.

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, 1999). 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.

Assim, alguns processos do sistema logístico, até então pouco significativos, passam a ter uma importante participação no sistema. Um caso típico é a operação de armazenagem e expedição de bens e serviços. A armazenagem, por muito tempo, foi uma função quase esquecida, considerada apenas uma área física destinada para estocar mercadorias limitando-se às simples funções de recebimento, estocagem (armazenagem) e expedição dos materiais. No entanto, a operação de armazenagem na atualidade passa a ser considerada como uma vantagem competitiva. Ao processo de armazenagem foram agregadas as atividades como o controle de estoque automatizado, a montagem de conjuntos de produtos (kits), a embalagem, a inspeção e o controle de qualidade.

O modelo industrial, baseado nos conceitos de vantagem competitiva (Porter 1986), apresenta a tendência de valorizar os pacotes de serviços das mais variadas

espécies. Entre eles citam-se os serviços de distribuição, abastecimento, armazenagem, atendimento ao cliente, proposta de soluções de projetos, entre outros.

A nova visão da operação de armazenagem associada à tendência de terceirização fez com que a figura dos armazéns gerais¹ ressurgisse no Brasil. Hoje, a instalação de um armazém geral, requer o investimento em novas tecnologias de gerenciamento de armazéns (WMS - *Warehouse Management System*), movimentação e separação de materiais, para aumentar a produtividade e o aproveitamento do armazém.

O objetivo dos armazéns gerais consiste em oferecer níveis de serviço cada vez mais altos em termos de confiabilidade, tempo de atendimento e eficiência. Isto vem ao encontro do princípio da redução dos custos e dos inventários, das cadeias produtivas através de sistemas de reposição contínua e de entregas frequentes de pequenos pedidos. A complexidade operacional dos armazéns gerais torna-se, então, aparente.

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 decisões, e é neste sentido que este trabalho está sendo realizado. O presente trabalho direciona o estudo de caso na atividade de um armazém geral, um dos componentes do sistema logístico, cuja performance e custos refletem diretamente no nível de serviço da cadeia produtiva. Será utilizada a ferramenta da simulação computacional em uma atividade de armazenagem, através de um estudo de caso, com o intuito de analisar suas potencialidades neste ambiente.

1.1 Justificativa do estudo

A compreensão dos processos de armazenagem caracterizados e a otimização da utilização dos recursos a eles destinados são importantes elos para a melhoria dos sistemas logísticos. Assim, o desenvolvimento de um estudo com o objetivo de identificar potencialidades de uso da ferramenta de simulação computacional para dar suporte à tomada de decisões neste ambiente mostra-se relevante.

Uma das motivações para a realização deste estudo provém da dificuldade de se encontrar publicações no Brasil sobre o uso da simulação computacional em armazéns gerais, constituindo, assim, uma contribuição teórica deste trabalho. Neste particular, cabe referir que muitas das aplicações desenvolvidas em organizações acabam sendo restritas ao seu ambiente originário.

A oportunidade da análise desenvolvida no estudo de caso proposto assenta-se na importância de conhecer alternativas que permitam atingir melhorias nos processos antes de causar impactos sobre o fluxo de trabalho real. Para tanto, o primeiro passo a ser dado consiste em entender o sistema. A simulação computacional tem sido citada como uma ferramenta eficaz para melhorar esse entendimento (Law & Kelton, 1991; Pidd, 1998).

Na análise de viabilidade do projeto considera-se como fatores relevantes à disponibilidade das partes envolvidas, a complexidade, o custo e o acesso às informações. O projeto de simulação foi apresentado e aprovado na empresa em estudo, a qual se interessou e se propôs a fornecer os dados necessários para o desenvolvimento da pesquisa. Neste sentido, verifica-se que o acesso às informações, assim como a complexidade e os custos envolvidos, estão de acordo com a realidade do projeto.

¹ Os armazéns públicos podem ser classificados em seis tipos. O armazém geral é um tipo de armazém público destinados para a armazenagem de matéria-prima e/ou produtos acabados (Lambert *et al.* 1998).

1.2 Objetivos do Estudo

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar as potencialidades de utilização da ferramenta de simulação computacional em um ambiente de armazém geral

1.2.2 Objetivo Específico

Com o propósito de alcançar o objetivo principal deste estudo, o seguinte objetivo específico deve ser atingido: *realizar um estudo de caso em um sistema de armazenagem desenvolvendo um projeto de simulação computacional calcado em um método de condução de projetos de simulação.*

1.3 Delimitação do Estudo

O estudo foi realizado em um armazém geral pertencente a uma empresa de transporte rodoviário de carga do país. O armazém geral está localizado na região metropolitana de Porto Alegre/RS.

No âmbito do armazém geral, a proposta de estudo está focalizada no processo de expedição. O processo de expedição de mercadorias contempla quatro sub-processos, quais sejam: processamento de pedidos, separação de pedidos, conferência e carregamento. Em face da complexidade do sistema, optou-se por restringir o estudo ao sub-processo de separação de pedidos, na atividade de *apanha palete*.

Convém observar que a análise de potencialidade da utilização da simulação computacional no ambiente em estudo está direcionada ao desenvolvimento de um projeto de simulação para a aprendizagem e o entendimento do sistema em estudo. Não sendo assim, o objetivo principal do estudo utilizar a simulação para resolver um problema específico da empresa.

Por fim, este estudo está focado na discussão em torno das necessidades de compreensão do método de desenvolvimento de projeto de simulação e identificação de potenciais aplicações da ferramenta de simulação computacional no ambiente em estudo. Sendo assim, não se objetiva fazer uma descrição aprofundada da ferramenta utilizada, nem uma análise comparativa dos diferentes software de simulação disponíveis no mercado.

1.4 Estrutura do Estudo

Esta dissertação está estruturada em 6 capítulos, descritos a seguir.

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, armazém geral e os princípios básicos da técnica de simulação computacional.

Capítulo 3 – Método de trabalho: apresenta o método aplicado para o desenvolvimento desta dissertação. São apresentados as etapas do trabalho e o método aplicado para o desenvolvimento 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 da simulação: 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.

CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta as bases teóricas para a realização deste trabalho. Inicialmente faz-se uma breve descrição de logística com o intuito de contextualizar a armazenagem dentro da cadeia produtiva². Na seqüência são abordados conceitos que envolvem o armazém geral e são feitas considerações sobre a ferramenta de simulação computacional.

2.1 Logística

A logística tem sido exercida desde os tempos mais remotos da civilização, entretanto, paradoxalmente, seu conceito é moderno. 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.

²Outros termos usados para este conceito são cadeia de abastecimento, cadeia de fornecimento e/ou *supply chain*. O *Supply chain* é todo esforço envolvido nos diferentes processos e atividades empresariais que criam valor na forma de produtos e serviço para o consumidor final (Chain, 1999).

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”. (Op. cit. p.24)

Também em uma perspectiva ampla o *Council of Logistics Management* americano 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”.(*Council of Logistics Management apud Novaes, 1999b, p. 4*)

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 desenvolvendo 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 (1999a) divide o processo de evolução da logística em quatro fases esquematizadas na tabela 1.

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

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

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 atuar 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 Chain (1999) destaca:

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

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 (1999b), além da dimensão temporal e espacial 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.”

(Ching, 1999, p.18)

Diante do exposto, ressalta-se 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 (Kaibara, 1998). De fato, dentro do conceito moderno de gerenciamento da cadeia produtiva, a logística aparece como elemento chave de integração (Novaes, 1999b).

2.2 Armazenagem

O conceito de armazém é bastante flexível, visto que não há exigências ou condições mínimas para sua caracterização. Armazém pode ser definido como qualquer depósito que ofereça condições próprias à guarda e proteção de mercadorias (Revista Movimentação e Armazenagem, 1999).

Tradicionalmente os armazéns foram considerados apenas um local para estocar mercadorias. No entanto, atualmente a operação de armazenagem pode ser uma vantagem competitiva, visto que é parte integrante de todos os sistemas logísticos. Segundo Lambert *et al.* (1998), as operações de armazenagem têm o papel de proporcionar o nível desejado de serviço ao cliente a um custo total mais baixo possível.

Em geral, quando as empresas decidem armazenar matérias-primas ou produtos acabados, existem duas opções para uso de instalações físicas, quais sejam, instalações alugadas, também denominada de *armazenagem pública* ou instalações próprias denominadas de *armazenagem própria*. Lambert *et al.* (1998) classificam os armazéns públicos em seis tipos, a saber:

- ◆ armazéns gerais de bens manufaturados – provavelmente a forma mais comum de armazenagem, são caracterizados pela armazenagem de bens manufaturados;
- ◆ armazéns refrigerados – proporcionam ambientes com temperatura controlada, utilizados para preservação de bens perecíveis, congelados, alguns produtos farmacêuticos, entre outros;
- ◆ armazéns alfandegados – caracterizados pelo pagamento das taxas de importação somente com a venda da mercadoria;
- ◆ armazéns de artigos domésticos e móveis – utilizados para armazenagem de bens pessoais;

◆ armazéns especiais para produtos de base – são utilizados para produtos agrícolas específicos, como grão lã e algodão. Geralmente apenas um tipo de produto é manipulado pelo armazém;

◆ armazenagem a granel – proporcionam a estocagem em tanques líquidos e armazenamento aberto ou coberto de produtos secos como carvão, areia e produtos químicos.

Sob o ponto de vista da delimitação deste trabalho, o foco está direcionado para os armazéns gerais.

O novo ambiente de negócios, caracterizado pela competição acirrada e por clientes mais exigentes, reflete diretamente na operação de armazenagem. Na tabela 2 identifica-se as principais exigências para as operações de armazenagem (ambiente) e seus respectivos impactos operacionais:

Tabela 2: Nova exigências e impactos operacionais na armazenagem

AMBIENTE	NOVA EXIGÊNCIA PARA OPERAÇÃO DE ARMAZENAGEM	IMPACTOS OPERACIONAIS
- política de redução de estoque	- entregas freqüentes de pedidos em pequenas quantidades; - baixa tolerância a erros dos armazéns - controle de qualidade zero defeitos.	- aumento das atividades de recebimento e expedição; - maior demanda para atividade de separação de pedidos fracionados (picking); - aumento da atividade de controle de qualidade; - maior circulação de informação.
- Desdobramento da demanda em grupos heterogêneos (segmentação de mercados); - Diversificação de produtos e mercados.	- ciclo de pedidos mais curtos; - aumento do número de itens em estoque (SKU).	- necessidade de maior espaço para estocar separadamente um número mais elevado de itens; - diminuição da produtividade por empregado; - maior circulação de informação.

Lacerda (1999) aponta que a instalação de armazenagem tradicional, caracterizada pelo baixo índice de automação e muitas vezes projetadas para maximizar a utilização do espaço físico e não, a eficiência do fluxo físico, não tem como manter a eficiência/eficácia e absorver as novas exigências operacionais.

Diante das novas exigências, a figura dos armazéns gerais, gerenciados por terceiros, assumem importante papel dentro do sistema logístico. Os serviços vão além da tradicional estocagem de curto e médio prazo, foram incorporados as atividades de controle automatizado de inventário, montagem de conjuntos de produtos, embalagem, inspeção e controle de qualidade. A tendência é que os esforços estejam concentrados em atender às necessidades dos clientes para agregar valor ao serviço (Banzato e Fonseca, 1999).

Dado que a armazenagem assume a condição de importante elo no gerenciamento da cadeia produtiva, a questão que se impõe é: como estas instalações podem contribuir para atender o nível de serviço estabelecido? A resposta para esta questão será explorada nas próximas seções.

2.2.1 Caracterização de Armazém Geral

O que caracteriza os armazéns gerais é o fato de se poder receber mercadorias de mesma natureza e qualidade, pertencentes a diversos donos, guardando-se misturadas (Artigo 12º do Decreto nº 1.102, de 21 de novembro de 1903).

Como principais atividades desenvolvidas nestes armazéns destacam-se o controle do estoque, o recebimento e estocagem dos materiais, o endereçamento no depósito, o controle do reabastecimento, o controle do FIFO (primeira que entra será a primeira a sair), LIFO (última a entrar será a primeira a sair) e/ou FEFO (primeira a expirar será a primeira a sair) para expedição das mercadorias, a alocação dos recursos nos processos de forma eficiente, o controle dos lotes de materiais, o inventário, a expedição de mercadorias, os relatórios gerenciais, a codificação dos itens e dos paletes e a montagem de pedidos para clientes.

Em armazéns gerais com sistema de gerenciamento automatizado identificam-se em sua operação, basicamente, três processos-chave, quais sejam: recebimento, armazenamento e expedição (Manual, 2000).

A figura 1 esquematiza as funções básicas de destes armazéns:

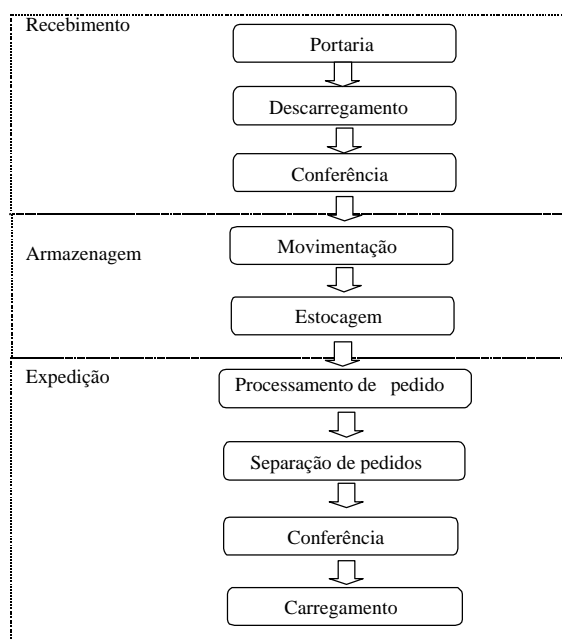


Figura 1: Funções básicas de um armazém

2.2.2 Processo de Recebimento

A função do recebimento consiste em internalizar as mercadorias recebidas no armazém, garantindo a qualidade no recebimento e permitindo a identificação das mesmas. O recebimento ocorre em docas de descargas, podendo ser feito manualmente ou com equipamento especializado. As cargas que chegam ao depósito devem ser descarregadas, conferidas, identificadas e encaminhadas ao local de armazenagem.

Os principais sub-processos do processo de recebimento são *portaria*, *descarregamento* e *conferência*. A portaria é responsável pela entrada e saída de veículos no armazém, como principal atividade destaca-se o registro do veículo que dará seqüências as outras atividades do armazém. O descarregamento é composto basicamente pela

atividade de geração do pedido de descarga, via papel ou via sistema computacional, e a convocação de operador de empilhadeira para efetivação da descarga. A conferência é responsável pelo recebimento de mercadorias e, como principais atividades, destaca-se a verificação da qualidade do material recebido, a identificação dos volumes recebidos e identificação das Unidades de Movimentação e Armazenamento (UMA).

2.2.3 Processo de Armazenagem

O armazenamento tem como função a movimentação até o local de armazenagem e alocação do produto recebido no local de armazenamento, este último atendendo às regras de aproveitamento e distribuição do armazém definidas no planejamento do armazém (Banzato e Fonseca, 1999). O Armazenamento é composto das seguintes sub-processos: *endereçamento, movimentação horizontal ou vertical, ressuprimento, transferências e armazenagem* propriamente dita.

A movimentação da mercadoria num armazém geral pode ser classificada em movimentação horizontal e movimentação vertical caracterizados, respectivamente pelo deslocamento horizontal e deslocamento vertical das mercadorias. A movimentação deve ser realizada através de equipamentos especializados, tais como paleteira manual ou elétrica, empilhadeira elétrica ou a gás, transelevadores, esteiras rolantes, entre outros.

O desempenho do sistema de movimentação interna num armazém é influenciado pelo:

- ◆ projeto de arranjo físico interno - área, piso, layout, pé direito, modularidade do prédio;
- ◆ a estrutura de armazenagem - estrutura porta palete, drive-in, racks, prateleira, blocos de produtos;
- ◆ equipamentos para movimentação - empilhadeiras, paleteiras, carrinhos e esteiras;
- ◆ recursos tecnológicos – sistema de gerenciamento de armazém (WMS- Warehouse Management System), código de barras, coletores, rádio-frequência, entre outros.

A função do ressuprimento é abastecer as áreas destinadas à coleta de mercadoria com unidade menor que uma paleta. O ressuprimento deverá ocorrer sempre que a quantidade de mercadorias nestes endereços não for suficiente para a expedição. Como atividades tem-se: identificação da demanda, endereçamento de busca, movimentação e efetivação do ressuprimento.

A transferência é uma movimentação de mercadorias entre endereços sendo gerada de acordo com as necessidades.

2.2.4 Processo de Expedição

A expedição é o processo responsável pela saída da mercadoria do armazém de acordo com as necessidades do cliente. No processo de expedição são *geradas as ordens de serviço* a partir do pedido do cliente, podendo ser via sistema computacional; *separação de pedidos* que tem como função produzir os volumes para atender aos pedidos dos clientes podendo ser de palete completo, palete não completo sem abertura de volumes e/ou palete não completo com abertura de volumes; *conferência* de separação responsável pelo correto *mix* de separação do material e *carregamento* que monta o veículo a ser expedido.

O sub-processo de separação de pedido, também denominada de *order picking* ou *picking*, é definida como a atividade responsável pela coleta do *mix* correto de produtos, em suas quantidades corretas para satisfazer a necessidade do cliente. (Rodrigues, 1999)

2.2.5 Tecnologias Aplicadas

Com a tendência de terceirização da armazenagem e especialização no negócio, novos investimentos em tecnologias e conseqüente elevação do grau de automação vêm sendo incorporados nas atividades dos armazéns gerais. No Brasil, essa tendência também é verificada através de projetos de automação na armazenagem, desde os mais simples, envolvendo apenas o sistema de separação de pedidos, até os mais sofisticados, em que a operação passa a ser executada com o mínimo de intervenção humana (Lacerda, 1999).

Neste contexto, destaca-se a utilização de sistemas de gerenciamento de depósito (WMS – *Warehouse Management System*) com recursos de rádio frequência e impressoras e leitoras de código de barras³. As tradicionais listagens e pranchetas estão sendo substituídas por coletores portáteis de dados disponibilizando a informação em tempo real. Esses coletores apresentam elevado grau de sofisticação, podendo estar providos de teclado, display, leitor de código de barras e dispositivo de rádio-comunicação.

O Sistema de gerenciamento de depósito WMS tem como função otimizar o fluxo de todas as informações e operações de recebimento, armazenagem e expedição de materiais (Guia Supply Chain, 1998). Buscam-se diversas melhorias no sistema de armazenagem objetivando assegurar que recursos estejam disponíveis para satisfazer os níveis planejados do negócio, satisfazer a movimentação diária de produtos recebidos e expedidos, planejar e monitorar todos os recursos para fornecer um serviço de custo-eficaz dentro dos critérios acordados.

Entre os principais benefícios alcançados com o investimento em novas tecnologias para armazéns gerais, citam-se (Guia Supply Chain, 1998):

- ◆ Aumento de produtividade em todas as operações do depósito;
- ◆ Agilização e otimização do Fluxo de Materiais;
- ◆ Redução dos Custos de Estocagem e Operação;
- ◆ Eliminação da utilização de papéis na troca de informações;
- ◆ Redução dos erros humanos;
- ◆ Controle do estoque em tempo-real;
- ◆ Melhora do controle dos processos e recursos de movimentação e armazenagem;
- ◆ Gera base de informações para gestão de produtos e recursos;
- ◆ Redução dos Ciclos de Entrega e Abastecimento;

³ O código de barras é a representação gráfica de dígitos e letras, constituído a partir de algoritmos de codificação, denominados simbologias.

- ◆ Garantia da Qualidade Assegurada ao Cliente.
- ◆ Melhorias na acuracidade dos inventários.
- ◆ Melhor prestação de serviços ao cliente.

Todavia, antes da tomada de decisão quanto a esses investimentos é relevante que se faça uma análise do impacto sobre o desempenho do sistema a respeito de cada um dos itens citado acima. Essa análise pode ser realizada através de construção de cenários representando os incrementos de tecnologia e políticas de gestão, o que pode ser operacionalizado pela simulação computacional, explorada na próxima seção.

2.3 Simulação Computacional

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, p.96) “(...) 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”.

Diante do exposto e da relevância que a questão da tomada de decisão assume para o gerenciamento, torna-se importante utilizar ferramentas que auxiliem a visualizar sistemicamente as organizações identificando os efeitos das decisões tomadas. Neste cenário emerge a funcionalidade e potencial da simulação computacional, explorada nesta seção.

2.3.1 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 atual e a experimentação com modelos do sistema.

Na experimentação com o sistema atual, 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, os modelos 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, 1981). 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 2 representa, esquematicamente os caminhos para se estudar um sistema:

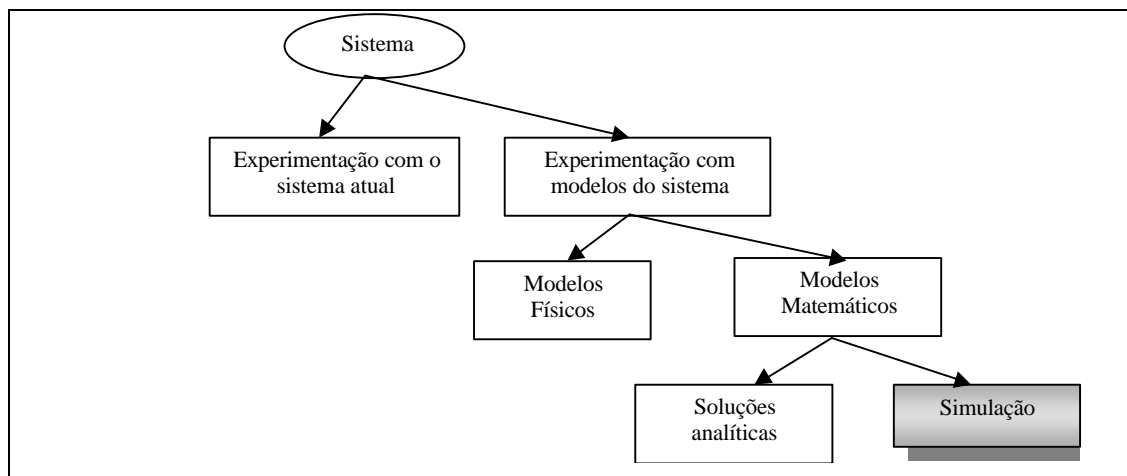


Figura 2: Caminhos para estudar um sistema (Fonte: Law e Kelton, 1991).

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 de modelos estocásticos permitindo modelar sistemas com grande número de eventos e relações.

2.3.2 Conceito de Simulação Computacional

A simulação computacional, segundo Hollocks (1992, *apud* 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 conceitual da simulação computacional, segundo o autor, está representada na figura 3.

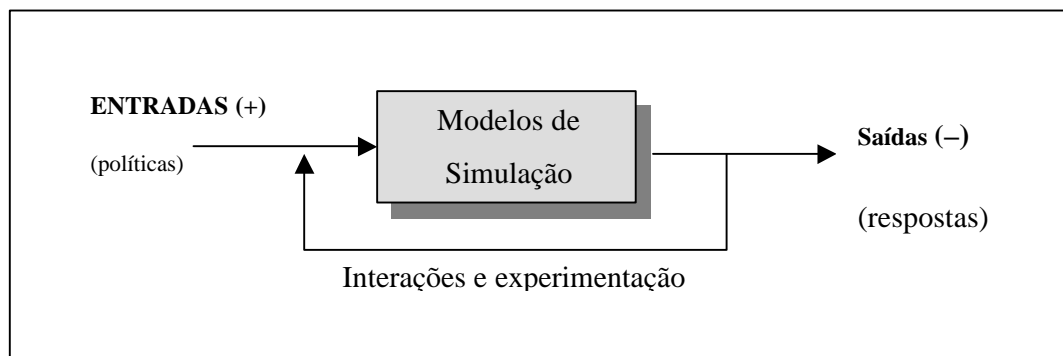


Figura 3: Base conceitual da simulação (fonte: Pidd 1998, p. 226)

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 (Barrônio, 2000, p.18).

2.3.3 Vantagens e desvantagens do uso da simulação computacional

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

- ◆ Sistemas complexos que contenham elementos estocásticos que não conseguem ser tratados adequadamente por técnicas analíticas podem ser, na maioria das vezes, estudados via simulação.
- ◆ Fornece um controle melhor sobre as condições experimentais do que seria possível na experimentação no sistema real;

- ◆ Permite replicação precisa dos experimentos, podendo-se testar cenários para o sistema;
- ◆ Permite simular longos períodos em um tempo reduzido;
- ◆ 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 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;
 - ◆ A técnica da simulação não é por si só otimizante, testando somente as alternativas dadas pelo usuário.
 - ◆ Um estudo de simulação pode se tornar demorado e consumir recursos elevados.

2.3.4 Aplicações da simulação computacional

A utilização da simulação 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 software 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, entretanto, esta ferramenta tem o uso bastante incipiente no nosso país. A seguir apresentam-se alguns exemplos de aplicações desenvolvidas com a ferramenta de simulação computacional:

- ◆ **Manufatura:** a utilização da simulação nesta área tem ocorrido em diversas aplicações. Exemplos de aplicação em manufatura podem ser

encontrados em Pidd (1987), a simulação foi utilizada numa planta de uma indústria alimentícia, Boblitz (1991), onde com a simulação a empresa conseguiu economizar US\$ 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), aplicação da simulação em fábrica de calçados; Williams e Gevaert (1997), utilização da simulação num processo operacional de uma companhia da cadeia automotiva; Williams e Sadakane (1997) com a aplicação da simulação foi possível otimizar o processo produtivo; Ripoll (1998), desenvolvimento de um modelo de simulação para o dimensionamento de equipe polivalente de manutenção; Barrônio (2000), utilização da simulação para otimizar a capacidade da área de cromagem de uma indústria de motosserra.

◆ **Armazenagem:** Lopes (1999), utilização da 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; Kosfeld (1998), construção de um modelo de simulação para definição dos recursos humanos e operacionais adequados para dar suporte as operações de armazenagem.

◆ **Transporte/logística/cadeia de suprimento:** Exemplos de aplicação na área podem ser encontrados em Panitz (1996), 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; Wenle *et al.* (1996), 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; Nazáro *et al.* (1998), 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; Ingalls e Kasales (1999), utilização da simulação como

ferramenta de análise da cadeia de suprimentos; 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; Schunk e Plott (2000) apresentam a simulação como uma ferramenta efetiva na modelagem e solução de problemas na cadeia de suprimento.

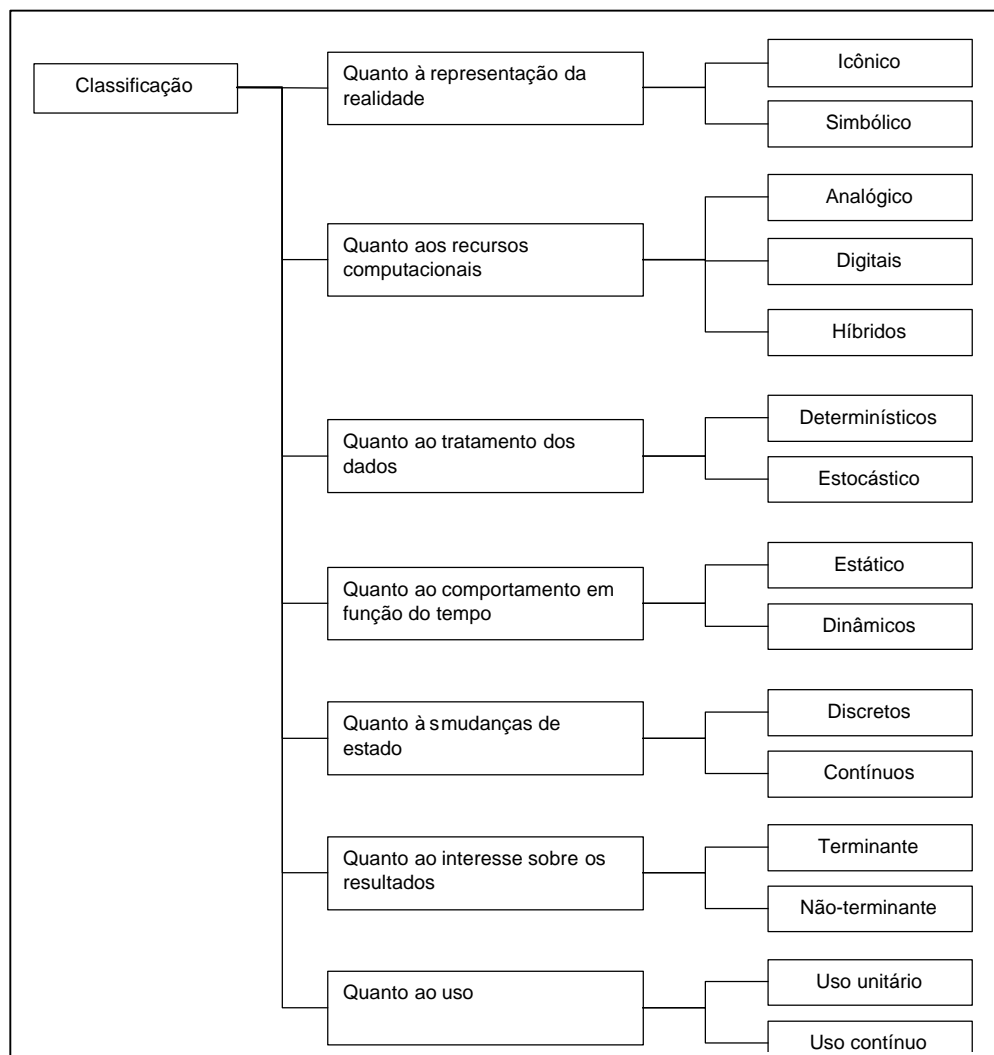
◆ **Setor de saúde:** aplicação na área pode ser encontrada em Fusco (1997), busca de redução do tempo de espera dos pacientes que realizam exames no Hospital Albert Einstein; Borba (1998), análise de alternativas para uma situação específica no hospital para criação de um novo serviço.

◆ **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.

2.3.5 *Classificação dos modelos de simulação*

Os modelos de simulação computacional são classificados de acordo com uma série de critérios. Barrônio (2000) esquematiza na figura 4 os principais critérios fatores em que se podem classificar tais modelos.

Figura 4: Classificação dos modelos de simulação (fonte: Barrônio, 2000).



Segue descrição breve de cada característica contida em Barrônio (2000).

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 voo. 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. *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. *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.

2.3.6 Evolução dos software de Simulação Computacional

A utilização de simulação computacional por muito tempo esteve restrita a um grupo pequeno de usuários. Tal fato decorre principalmente do elevado custo dos computadores, do grande esforço de programação requerido e das limitações de memória para armazenamento de dados (Harrell e Tumay, 1995 *apud* Barrônio, 2000). O desenvolvimento de linguagens específicas e a acessibilidade e incremento na capacidade de processamento computacional vêm aumentar o leque de possibilidades de utilização desta técnica.

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 3 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, Barrônio, 2000).

Tabela 3: Evolução dos sistemas de simulação (Adaptado de Lobão e Porto, 1996).

Classificação	Tecnologia disponível	Ferramentas
Tipo I Até década de 60	- conhecimentos científicos, matemáticos, estatísticos e habilidades manuais.	- modelos matemáticos e modelos físicos em escala reduzida.
Tipo II 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 Década de 80	- microcomputadores.	- pacotes de simulação: simuladores de interface gráfica, tais como: ARENA, AUTOMOD, PROMODEL, MICRO SAINT, etc.
Tipo IV Década de 90	- estações de trabalho de alto desempenho e grande capacidade de memória.	- Simuladores de interface gráfica, interativos e inteligentes.

A escolha de um programa de simulação, entre os software 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).

Busca-se a utilização de um software que atenda a modelagem necessária para representar o sistema em estudo, considerando os limites de tempo de desenvolvimento, recursos financeiros e esforço de programação.

Rodrigues (1994) apresenta este *trade-off* segundo as diversas categorias de pacotes passíveis de utilização para fins de modelagem computacional de um sistema (figura 5):

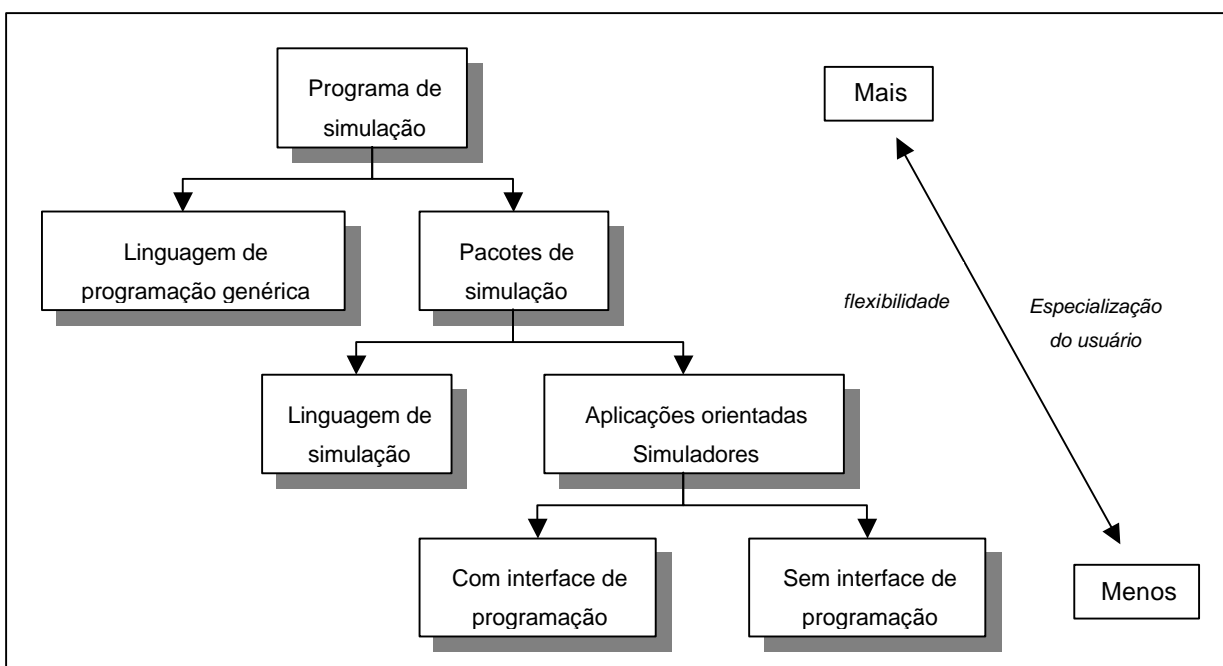


Figura 5: Trade-off entre flexibilidade de modelagem e especialização do usuário na ferramenta (fonte: Rodrigues, 1994).

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 software mais conhecidos nessa área são: ARENA, AUTOMOD, MICRO SAINT, e PROMODEL. Menezes e Rodrigues (1996) apresentam uma comparação entre

os vários tipos de programas que podem ser utilizados na simulação computacional, ressaltando os aspectos da flexibilidade de modelagem e o nível necessário de especialização do usuário. Um estudo comparativo entre os softwares Automod e Arena pode ser visto em Nishimura e Bastita (1996).

2.3.7 Software de Simulação Computacional utilizado

Para os fins do presente estudo, foi escolhido software de simulação computacional denominado Promodel. 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:

- ◆ 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*.
- ◆ o rastreamento - permite que toda a sucessão de eventos seja visualizada e analisada;
- ◆ a sua interface gráfica - apresenta biblioteca gráfica que agiliza a construção do modelo. A representação gráfica é importante para visualização do modelo;
- ◆ a flexibilidade de modelagem - que amplia as opções para o desenvolvimento da modelagem; e
- ◆ a importação e exportação de arquivos de planilhas eletrônicas - que permite maior agilidade na modelagem e na alimentação dos modelos desenvolvidos.

2.3.7.1 Pacote de Simulação Promodel

Na evolução do sistema de simulação apresentado anteriormente o simulador escolhido está localizado na fase III, caracterizado como pacotes de simulação com interface gráfica.

O pacote de simulação Promodel é constituído pelos software apresentados esquematicamente na figura 6:

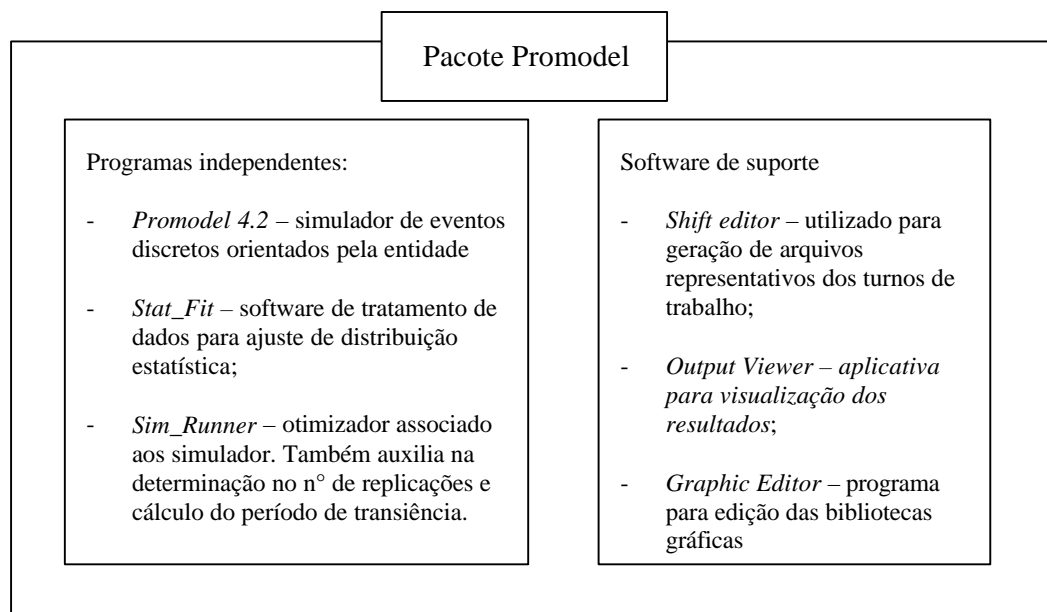


Figura 6: Pacote Promodel

2.3.7.2 Elementos Básicos

A seguir uma breve descrição dos elementos e funções básicos do Promodel (maiores informações Barrônio 2000 e manual do software Promodel 1997).

Entidades (*entity*): elementos que se “movem” e sofrem processamento no modelo. Como exemplo tem-se os produtos, as pessoas, os documentos e as ordens de pedidos.

Local (*location*): elementos que representam lugares físicos e fixos no sistema onde ocorrem os processo. Os locais podem ser uma máquina, uma mesa, um posto de trabalho, uma estrutura de armazenagem.

Chegadas (*arrivals*): elementos que indicam a introdução de entidades no modelo, ou seja, cada vez que uma nova entidade é introduzida no modelo uma chegada ocorre. As chegadas podem ocorrer baseadas no tempo ou em alguma condição.

Recursos (*resources*): elementos de apoio a execução do processo ou de movimentação, como exemplo tem-se uma empilhadeira ou um operador.

Processos (*process*): define as operações realizadas sobre as entidades e a movimentação das entidades para os diferentes locais.

Redes de percurso (*path networks*): definem o caminho a ser percorrido pelos recursos e/ou entidades durante a movimentação ao longo do modelo.

Turnos (*shifts*): representa a escala de trabalho dos recursos e locais.

Variáveis (*variables*): são contadores que podem ser incrementados ao longo do modelo para indicação da performance do modelo.

Atributos (*attributes*): são informações adicionadas a entidades ou locais.

Matriz (*array*): elemento de armazenamento de dados.

Macros (*macros*): permite a associação de um valor que ocorre repetidas vezes.

Sub-rotinas (*subroutines*): bloco lógico parametrizável que se repete em vários pontos do modelo.

No capítulo seguinte será apresentado o método de trabalho utilizado para o desenvolvimento da dissertação, bem como o método utilizado para o desenvolvimento do projeto de simulação computacional utilizado no estudo de caso.

CAPÍTULO 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 de um único armazém geral, 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, segundo Blau e Scott (1979), 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 pessoas envolvidas, e a observação do processo em estudo para maior compreensão do sistema real.

3.3 Etapas da Pesquisa

O método adotado para o desenvolvimento deste trabalho compreende as seguintes etapas:

1. Definição e elaboração de um projeto de dissertação;
2. Revisão bibliográfica – o objetivo foi construir a fundamentação teórica para o desenvolvimento do trabalho, compreendendo os seguintes assuntos:
 - 2.1 Conceituação de logística – logística, transporte de carga, armazém geral, movimentação e armazenagem de materiais.
 - 2.2 Simulação computacional – procurou-se aplicações da simulação computacional documentadas em revistas, periódicos, livros, teses e anais de congresso.
 - 2.3 Método de desenvolvimento de projetos de simulação computacional.
3. Apresentação e aprovação do estudo de caso pela empresa – o objetivo foi identificar uma organização disposta a desenvolver um projeto de simulação computacional;

4. Domínio da ferramenta de simulação computacional – esta etapa teve como objetivo aprofundar os conhecimentos na ferramenta, com o intuito de facilitar a utilização do software no projeto.
5. Realização do estudo de caso com o desenvolvimento de um projeto de simulação computacional – objetivo foi identificar potencialidades de uso da ferramenta na organização;
6. Análise dos resultados – análise e apresentação os resultados obtidos;
7. Conclusões e propostas para futuras pesquisas – apresentação das principais conclusões identificando oportunidades para futuras pesquisas;
8. Relatório final – trata-se desta dissertação, onde o desenvolvimento, resultados e conclusões estão relatados.

3.4 Método para desenvolvimento do projeto de simulação computacional

O método de desenvolvimento do projeto de simulação computacional utilizado nesta dissertação está baseado no método desenvolvido por Barrônio (2000). O método foi construído a partir da elaboração e análise de modelos de simulação computacional, contatos com usuários e modeladores da ferramenta e, principalmente, baseado na revisão da literatura de diversos autores. Dentre os autores pesquisados destacam-se Pegden *et al.* (1990), Law e Kelton (1991), Pidd (1992), Gogg e Mott (1992), Harrell e Tumay (1995), Cassel (1996) e Rodrigues (1998).

O método proposto por Barrônio (2000) pressupõe que a seqüência de etapas para o desenvolvimento de um projeto de simulação não deve ser rígida. Os estudos de simulação computacional não são apenas atividades seqüenciadas; cada estudo apresenta peculiaridades que determinam etapas e ordens próprias. Sendo assim, o método para o desenvolvimento do projeto de simulação está fundamentado na forma cíclica, preocupando-se principalmente com as interfaces, retroalimentação e análise de cada etapa a ser seguida. A principal característica do método consiste na sua flexibilidade e abrangência quanto ao desdobramento das etapas.

A figura 7 representa o método utilizado para o desenvolvimento do projeto de simulação computacional.

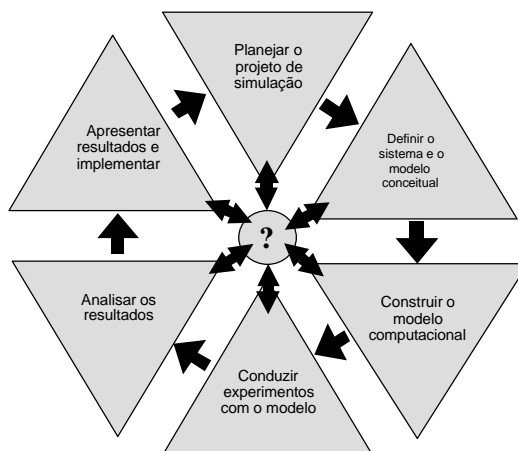


Figura 7: Método de condução do projeto de simulação (Fonte: Barrônio, 2000).

O elemento central da figura representa a avaliação crítica, que poderá resultar no redirecionamento, reconstrução de forma ampliada ou reduzida do projeto. Verifica-se que existe um ciclo natural para o desenvolvimento de projetos, com o início na fase de planejamento. Porém, o que o presente método sistematiza é a avaliação crítica e realimentação em cada etapa e/ou atividade do projeto.

O autor do método acredita que tal estrutura vem a beneficiar o desenvolvimento e resultados finais de projetos de simulação, “alterações nas etapas anteriores significam apenas aprimoramento ou simplificações no trabalho já feito” (Barrônio, 2000). Geralmente, em projetos de modelagem, na medida em que se avança na modelagem de um processo e melhor se entende seu comportamento, pode-se identificar a necessidade de retornar a etapas anteriores do estudo (Oliveira, 2000).

3.4.1 Planejar o projeto de simulação

A etapa do planejamento do estudo é importante para o sucesso do projeto de simulação computacional (Law & Kelton, 1991). Nesta etapa, busca-se a compreensão do funcionamento do sistema que se pretende estudar, bem como a definição da equipe de trabalho, cronograma e orçamento do projeto. Utilizam-se representações gráficas e

anotações do sistema levantando as fases do processo passíveis de serem estudadas via modelo de simulação.

Para auxiliar este processo de entendimento, neste trabalho utilizou-se a ferramenta da Árvore da Realidade Atual (ARA). A ARA é uma ferramenta do Processo de Pensamento da Teoria das Restrições que tem como finalidade esclarecer as relações de causa-e-efeito de uma realidade de forma a promover sua compreensão e identificar as causas centrais da maioria dos problemas experimentados pelas organizações (Goldratt, 1994).

A leitura da ARA é realizada de baixo para cima utilizando-se a lógica “SE [entidade da base da flecha], ENTÃO [entidade da ponta da flecha]. Quando existem duas ou mais flechas unidas por uma elipse, significa que as entidades devem existir simultaneamente para que o efeito seja observado (Goldratt, 1994). A figura 8 representa uma ARA.

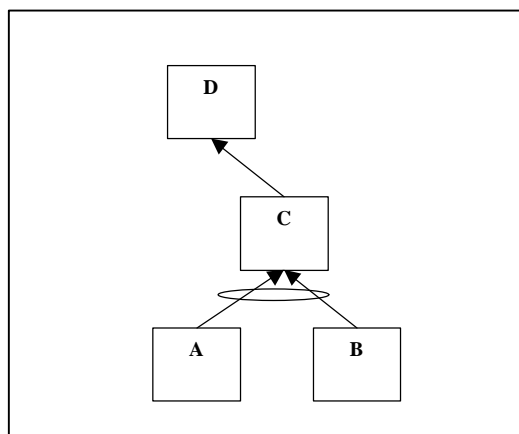


Figura 8: Árvore da Realidade Atual - ARA

A interpretação da ARA na figura 8 poderia ser feita da seguinte maneira: se o elemento A e B existem simultaneamente, então o elemento C existe. Se o elemento C existe, então o elemento D vai existir.

A partir do entendimento do sistema e da formulação do problema, são definidos os objetivos do projeto de simulação. Em linhas gerais, nesta etapa do projeto de

simulação é definido o problema a ser estudado sob todas as dimensões, ou seja, são definidos o escopo do projeto com suas especificações de abrangência, o detalhamento do modelo, a acuracidade dos dados, os experimentos e a forma dos resultados.

Para cada etapa do método, Barrônio (2000) apresenta uma série de itens que podem ser desenvolvidos ao longo do projeto. Da mesma forma que na execução das etapas do projeto, a seqüência destes itens também são flexíveis. A figura 9 apresenta itens que compõem a etapa de planejamento do projeto de simulação.

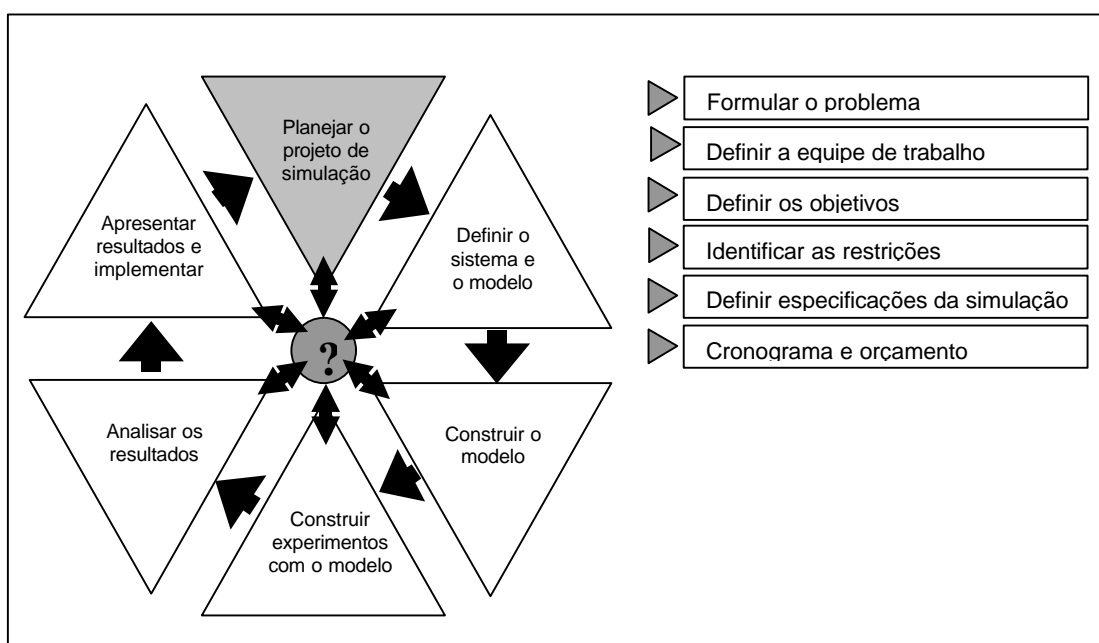


Figura 9: Etapa de planejamento do projeto de simulação (Fonte: Barrônio, 2000).

3.4.2 Definir o sistema e o modelo conceitual

Nesta etapa é desenvolvido um modelo teórico no qual o modelo de simulação será baseado. Definem-se os elementos, inter-relacionamentos, fatores principais, locais, entidades, eventos, atributos e indicadores do sistema, além dos dados necessários para alimentar o modelo.

Segundo Pidd (1998), grande parte do trabalho de construção de um modelo de simulação concentra-se no entendimento da lógica de funcionamento do sistema a ser simulado em termos de entidades e interações. O detalhamento do modelo é definido a partir da especificação dos assuntos de interesse.

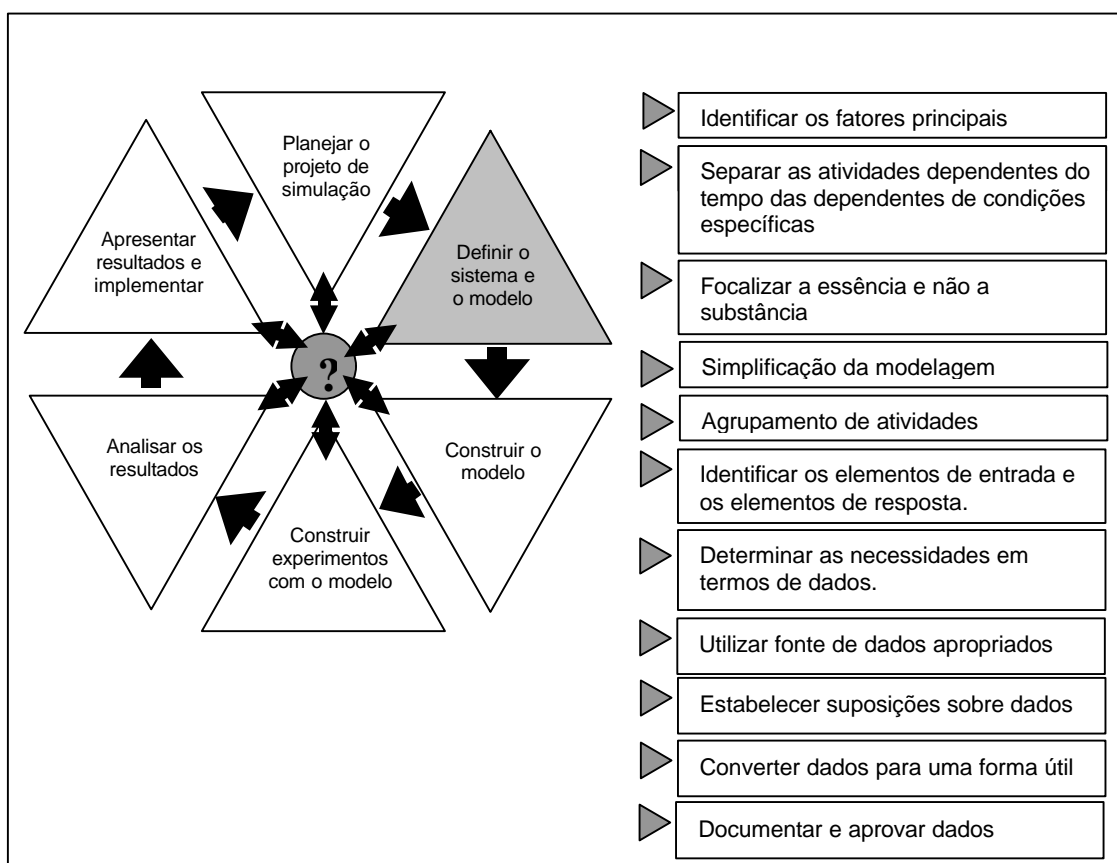


Figura 10: Etapa de definição do sistema (fonte: Barrônio, 2000).

3.4.3 Construir o modelo computacional

O objetivo desta etapa é traduzir o modelo conceitual num modelo computacional, que represente o sistema real de forma simplificada e válida. Nesta etapa, pode-se utilizar a técnica de construção do modelo em fases, onde as seções adicionais são gradualmente introduzidas; a técnica de partição do modelo, processo no qual ocorre a subdivisão em um ou mais módulos do modelo que representam seções fisicamente separadas dentro do sistema; e a técnica do refinamento progressivo, começar modelando de forma simples e aumentar a complexidade gradualmente.

Também, nesta etapa, são definidas as parametrizações dos elementos de interesse, a verificação do modelo, com o objetivo de garantir que opere como o projetado e a validação, que consiste em assegurar que o modelo representa fidedignamente o sistema real.

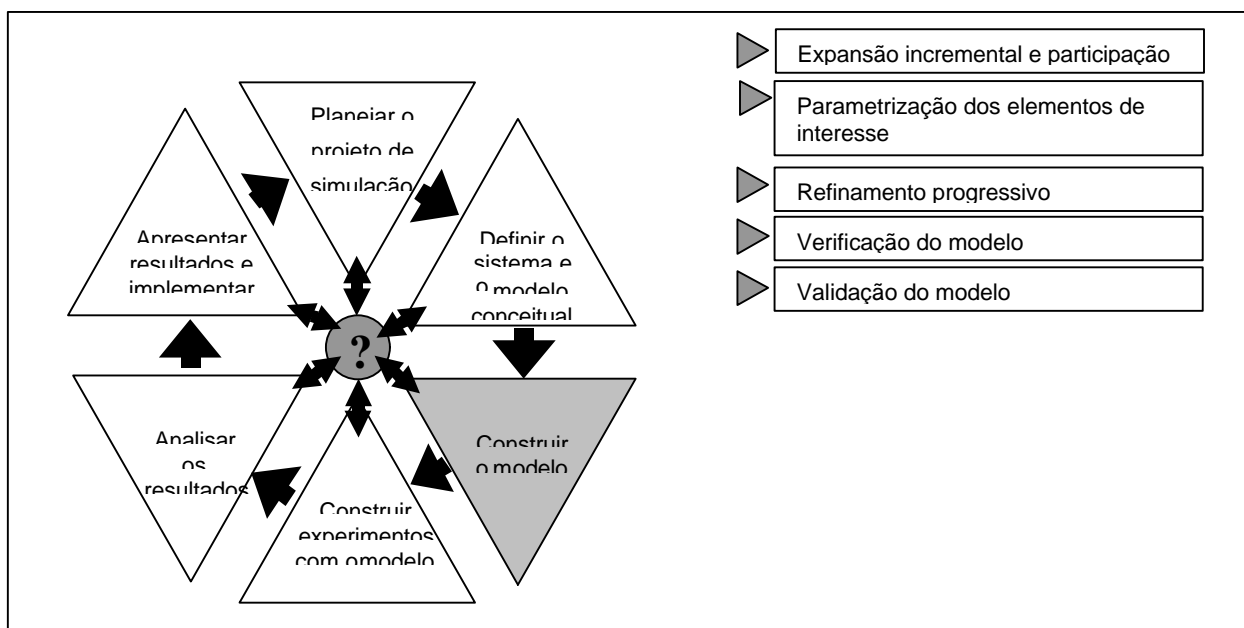


Figura 11: Etapa de construção do modelo (Fonte: Barrônio, 2000).

Barrônio (2000) ressalta a importância da interatividade das etapas do método proposto. Por exemplo, a interação desta etapa com a etapa anterior de coleta de dados, uma vez que se constrói o modelo conceitual interagindo com o planejamento dos dados, pode ocasionar a redução do tempo de execução do projeto. Em outra etapa, após a

construção de uma parte lógica do modelo, a mesma pode passar pelo processo de verificação. Dessa forma a análise de verificação passa a ser executada por partes o que simplifica o processo.

3.4.4 Conduzir experimentos com o modelo

Nesta etapa é feito o planejamento do experimento, definindo-se os cenários a serem testados no modelo de simulação. Para cada cenário devem ser avaliados parâmetros como a duração de cada rodada de simulação, o número de replicações necessárias e as condições iniciais de simulação⁴.

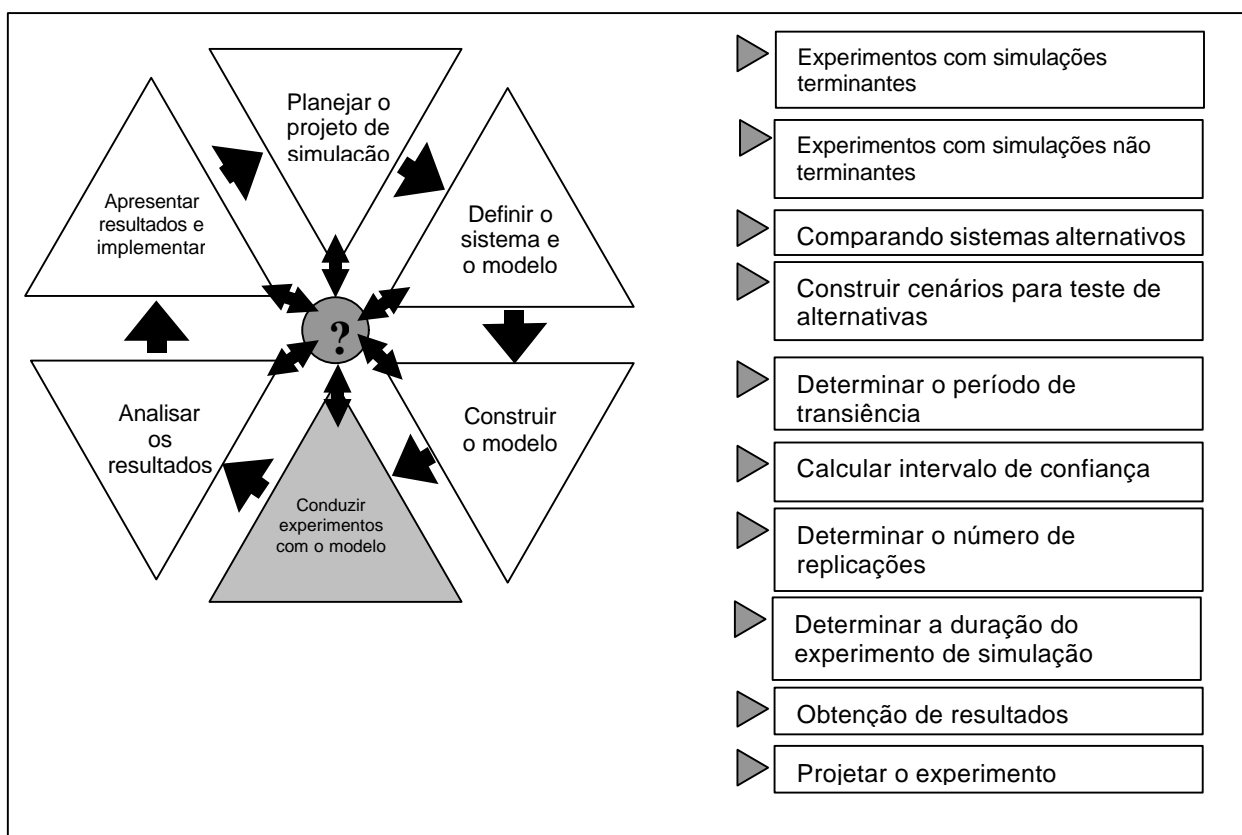


Figura 12: Etapa de conduzir experimentos com o modelo (adaptado de Barrônio, 2000).

⁴ Maior entendimento e descrição dos métodos de determinação do n° de replicações, intervalo de confiança, duração do experimento, determinação do período de transiência podem ser encontrados em Law e Kelton (1991) e Pegden *et al.* (1990).

3.4.5 Analisar os resultados

A partir dos resultados obtidos na simulação tiram-se conclusões sobre o sistema real modelado. A análise de resultados é uma etapa crítica no projeto de simulação e pressupõe um entendimento aprofundado dos experimentos e seus significados para o sistema real.

Barrônio (2000) destaca que esta etapa de análise dos resultados é uma fonte de realimentações no método, uma vez que para se estabelecer conclusões sobre o modelo podem vir a ser necessários outros experimentos ou mudanças nas etapas anteriores do método.

A análise de resultados tem início com a interpretação dos resultados, seguido pela fase de identificação de oportunidades de melhorias no sistema e, por fim, o registro e documentação das conclusões.

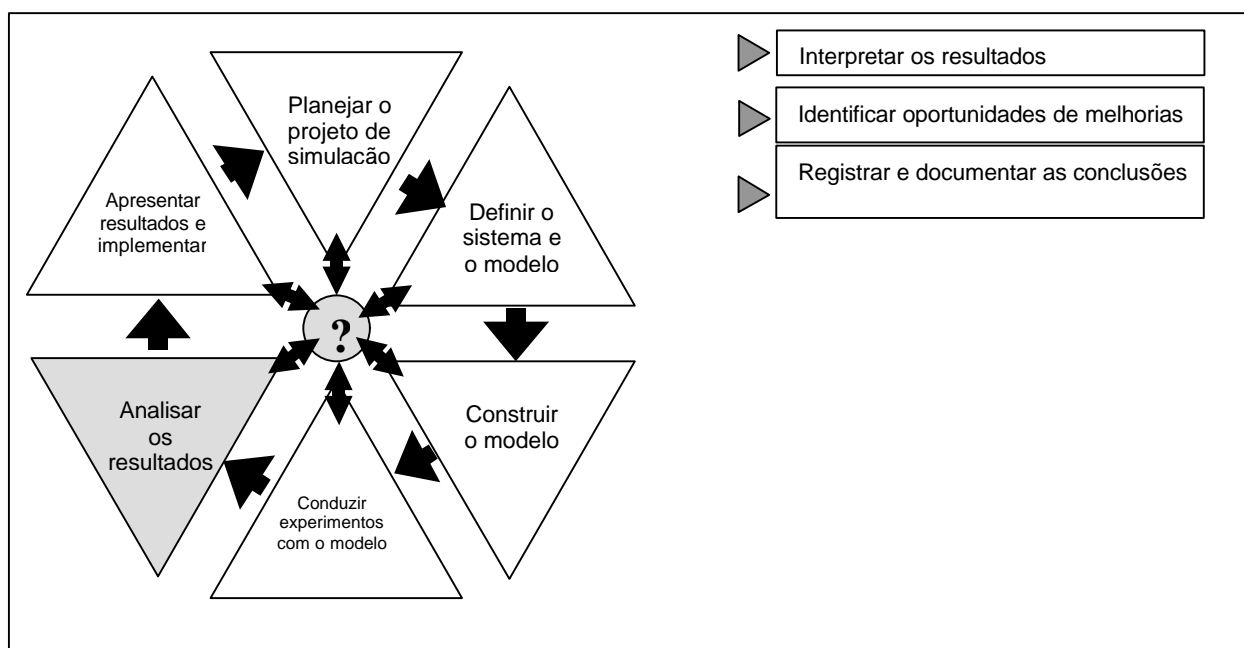


Figura 13: Etapa de análise dos resultados (Fonte: Barrônio, 2000).

3.4.6 Apresentar os resultados e implementar

Os resultados da simulação, identificados na etapa anterior, servem como suporte à tomada de decisão. Questões relativas à forma de apresentação e conteúdo são importantes na apresentação dos resultados. Assim sendo, esta etapa tem como objetivo estruturar os resultados obtidos com o projeto de simulação de forma a suportar uma tomada de decisão.

A discussão desta etapa versa sobre a definição da forma e de conteúdo dos resultados, apresentação dos mesmos, planejamento de implementação de melhorias apontadas, acompanhamento da implementação e análise crítica dos resultados da implementação.

Ao finalizar esta etapa pode-se passar a discutir novos projetos de simulação. No caso do modelo construído anteriormente ser do tipo uso contínuo a etapa seis irá resultar numa análise crítica que alimentará a etapa 1.

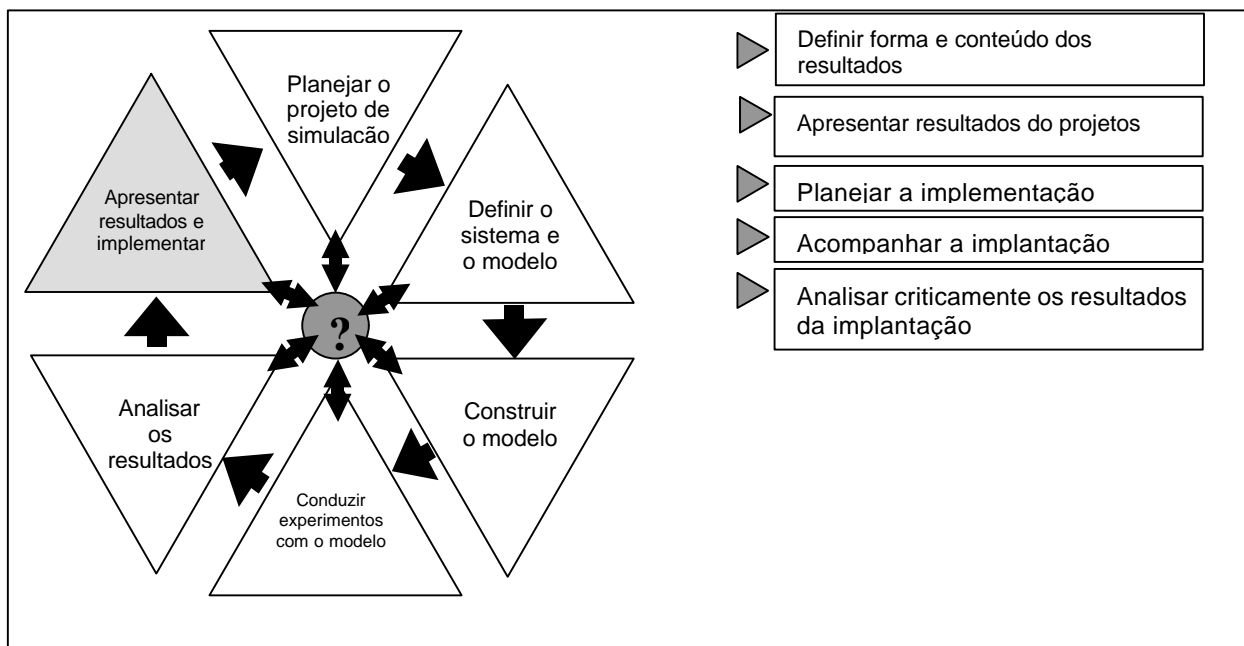


Figura 14: Apresentar resultados e implementar (Fonte: Barrônio, 2000).

CAPÍTULO 4 – ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresenta o estudo de caso realizado em um armazém geral. O estudo, planejado com a finalidade de analisar as potencialidades de uso da ferramenta de simulação, versa sobre o desenvolvimento de um projeto de simulação computacional num armazém geral. 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 do armazém geral para contextualização do processo em estudo; e
- b) desenvolvimento do projeto de simulação computacional.

4.1 Caracterização do Armazém Geral

O armazém geral onde foi realizado o estudo de caso está localizado no município de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. O armazém geral figura como um serviço adicional, prestado desde 1997, por uma tradicional empresa de transporte rodoviário de carga com atuação a mais de 50 anos no mercado.

Os serviços oferecidos pelo armazém geral compreendem o recebimento, codificação e conferência de mercadoria, armazenamento com controle do FEFO (primeiro que expira é o primeiro que sai), inventário cíclico, montagens de kits, colocação de

embalagens e controle do estoque, entre outros. O perfil da carga armazenada é variado incluindo produtos alimentícios e manufaturados.

As instalações físicas atuais são caracterizadas por uma área de armazém de 11.600m² com pé-direito livre de 10 m, a área de armazenagem é constituída por estruturas porta-palete com capacidade para 4.175 paletes PBR (paletes padrão 1,00x1,20), estrutura de *drive-in/drive-thru* com capacidade para 3.240 paletes PBR.

Quanto à automatização, o armazém pode ser caracterizado como semi-automatizado. O armazém possui investimentos em tecnologia de informação como código de barras, rádio frequência, rádios coletores com *scanners*, impressora térmica de emissão de etiquetas com código de barras, banco de dados e a utilização do sistema de gerenciamento de armazém (*Warehouse Management System – WMS*). Este sistema gerencia automaticamente todas as atividades do armazém registrando todas as movimentações num banco de dados. A movimentação interna do armazém é realizada com empilhadeiras elétricas e a gás e com paleteiras⁵ elétricas e hidráulicas.

Quanto às características operacionais do sistema, cabe referir que todas as áreas do armazém são endereçadas⁶ através de etiquetas com códigos de barras com o intuito de facilitar a localização das mercadorias dentro do armazém. Tal sistema proporciona a agilização das movimentações internas pela fácil localização. Além disso, o separador, funcionário responsável pela separação de pedidos de paletes não completos munido de rádio coletor e paleteira, apenas executa os serviços recebido via rádio, não necessitando saber onde estão as mercadorias e qual e melhor ordem de execução.

Todas as mercadorias e paletes mistos gerados na expedição são etiquetados com um único código de barras. O objetivo de tal procedimento consiste em garantir a rastreabilidade da mercadoria e, por conseqüência, o gerenciamento das atividades apoiado na informação.

⁵ Paleteira é o equipamento destinado a movimentação horizontal. No armazém em estudo são do tipo elétricas e hidráulicas.

⁶ Os endereços são padronizados numericamente e representam o depósito, módulo, rua, prédio, andar e apartamento. Dessa forma, o endereço 1 1 1 10 2 1 significa depósito 1, do módulo 1, da rua 1, no prédio 10, no andar 2, no apartamento 1.

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.

O projeto de simulação teve início em julho de 2000, através de contato com a diretoria da empresa para apresentação do projeto 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 do armazém geral. No primeiro encontro foi apresentado o projeto a ser desenvolvido e realizado um seminário para apresentação e esclarecimento da ferramenta de simulação computacional.

Reuniões subseqüentes foram realizadas para fornecimento de indicações sobre o tipo de problema a ser estudado. Analisando os principais processos no armazém, quais sejam recebimento, a armazenagem e a expedição, identificou-se como processo alvo de estudo para a aplicação do projeto de simulação o de *expedição de mercadorias* em função da importância para o sistema. A maior parte dos recursos humanos estão alocados no processo de expedição. Além disso, foi definido que para este estudo piloto seriam analisados os processos relativos a um único cliente que, atualmente, corresponde a 80% da movimentação do armazém.

4.2.1.1 Definição da Equipe de Trabalho

A equipe de trabalho foi constituída pelo Supervisor dos sistemas (responsável pelo suporte dos sistemas informatizados), o Supervisor e Encarregado de operações (responsáveis pelas operações do armazém), e o Modelador (encarregado pela condução do projeto de simulação).

4.2.1.2 Formulação do Problema

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 *in loco* e entrevistas com funcionários. 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.

O processo de expedição é constituído pelos sub-processos de processamento de pedido, separação de pedidos, conferência e carregamento.

A figura 15 apresenta de forma simplificada o processo de expedição de mercadoria do armazém em estudo com a abertura do sub-processo separação de pedidos.

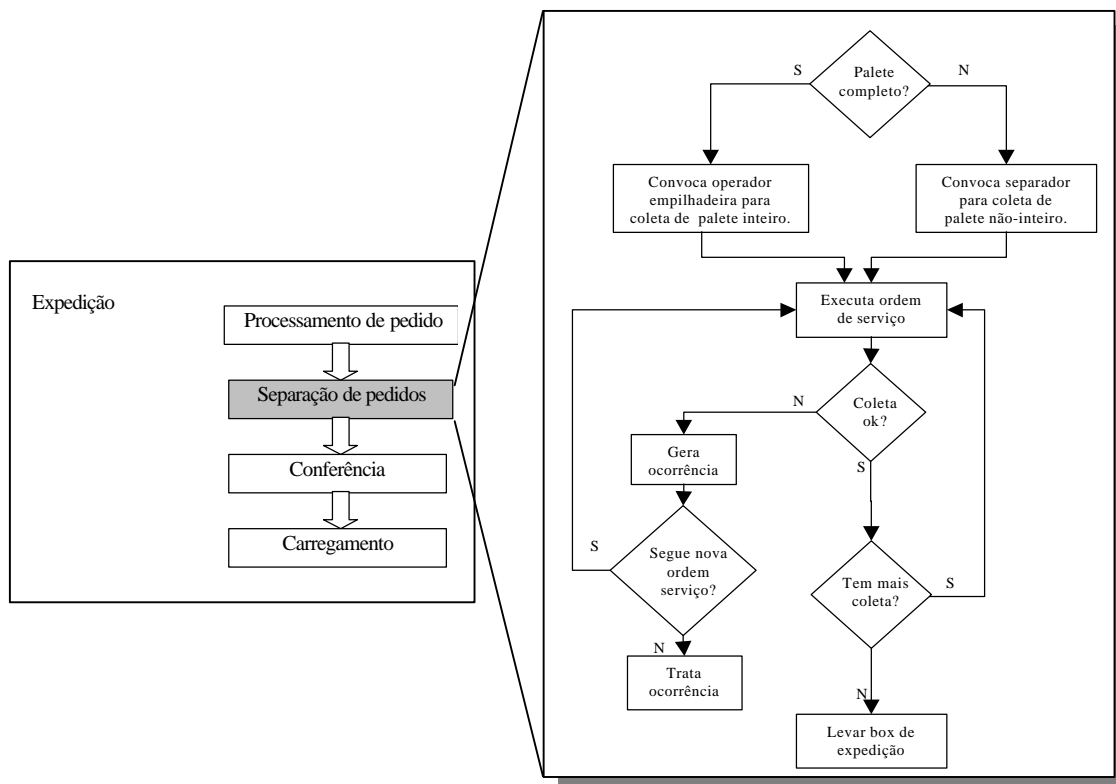


Figura 15: Processo de expedição de mercadoria

O processo de expedição de mercadoria inicia com a atividade de processamento de pedidos que consiste, através do WMS, em transformar os pedidos recebidos via EDI (troca eletrônica de dados - *Electronic Data Interchange*) do cliente em ordens de serviço para os funcionários. As ordens de serviço contêm a seqüência e o *mix* de produtos a serem separados sendo transmitidas via rádio frequência para os funcionários. O processo de separação de pedidos tem início quando o funcionário aceita a convocação de serviço para execução de uma ordem de serviço.

A separação de pedidos tem como função produzir os volumes com o *mix* de mercadoria correto para atender os pedidos dos clientes. No armazém em estudo identificaram-se basicamente duas formas de separação, quais sejam:

- ◆ a separação de palete completo, denominado como *apanha palete*; neste caso a movimentação é realizada com o auxílio de empilhadeiras elétricas, o operador de empilhadeira recebe via rádio a convocação para realização da separação do palete; e
- ◆ a separação de palete não completo sem abertura de volumes, denominado de *apanha separação*; neste caso o separador é convocado via rádio para compor um novo palete utilizando as paleteiras como recurso de movimentação.

A ordem de serviço será enviada para o operador de empilhadeira ou para o separador de acordo com as respectivas características de palete completo – *apanha palete* e palete não completo – *apanha separação*. Ao aceitar a convocação o funcionário irá executar a ordem de serviço que consiste em fazer a coleta da mercadoria especificada. Caso a coleta tenha ocorrido normalmente a atividade termina com a liberação do palete no box de separação. Se existir algum problema eletronicamente é gerado uma ocorrência a ser tratada.

Por fim tem-se a conferência de separação para verificação da separação do material e o carregamento que monta a mercadoria no veículo a ser expedido.

Para descrição e visualização do sistema a ser modelado foi construída a Árvore da Realidade Atual (ARA)⁷. A ARA construída, apresentada na figura 16, representa as relações de performance operacional levantado nas reuniões como o grupo de trabalho.

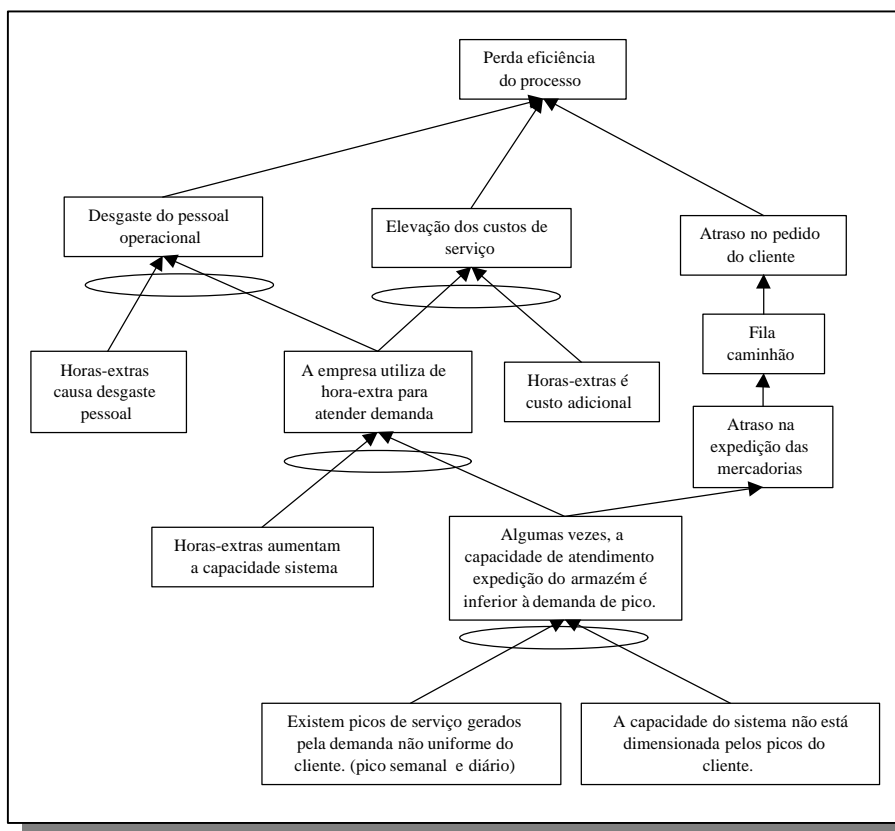


Figura 16: Árvore da Realidade Atual - entendendo problemas da expedição.

Identificou-se que o cliente apresenta uma demanda de serviços de expedição não uniforme, o que acaba gerando picos de serviços. Estes picos ocorrem tanto ao longo da semana quanto ao longo dos dias. Tal fato, aliado ao não dimensionamento da capacidade do sistema pelos picos do cliente vem a ocasionar algumas vezes dificuldades do sistema em atender à demanda de separação de pedidos do cliente. Ocorre que, algumas vezes, a capacidade projetada do sistema de expedição do armazém é inferior aos picos

⁷ A leitura da ARA é realizada de baixo para cima utilizando-se a lógica “SE [entidade da base da flecha], ENTÃO [entidade da ponta da flecha]. Quando existem duas ou mais flechas unidas por uma elipse, significa que as entidades devem existir simultaneamente para que o efeito seja observado (Goldratt, 1994).

gerados pelo cliente. Neste caso, normalmente, para conseguir atender ao pico do cliente, parte-se para utilização de horas extras. Tal política pode vir a causar tanto o desgaste da equipe quanto o aumento dos custos que acarretará na perda de eficiência do processo.

Como resultado da análise da ARA identificou-se como uma das questões chave a capacidade de atendimento da expedição no período de picos do cliente. Neste caso, a proposta de estudo foi focalizada na *análise de capacidade do sistema de expedição*.

Uma vez identificada uma área de interesse e entendido o funcionamento do sistema real procurou-se focalizar o trabalho para a definição do problema a ser estudado. Fez-se uma análise preliminar do processo de expedição baseada em experiências das pessoas envolvidas no processo, relatórios gerenciais e base de dados da empresa com o intuito de apontar pontos críticos no processo. Com base neste levantamento, foi possível identificar o perfil de pedidos do cliente e o tempo de execução das atividades. Tais informações foram importantes para a definição do sistema a ser modelado.

Na análise identificou-se que existe em média um acréscimo de 641% no tempo de *apanha separação* quando comparado com o tempo de *apanha palete*. Este acréscimo é inerente às características de cada atividade. Além disso, ao se analisar o perfil de pedidos do cliente observou-se que as buscas por *apanha palete* representam 30% da movimentação de separação de pedidos, enquanto o maior volume, equivalente a 70% da movimentação de separação de pedidos, era referente à *apanha separação*. A figura 17 apresenta esquematicamente o fluxo de atividades da expedição.

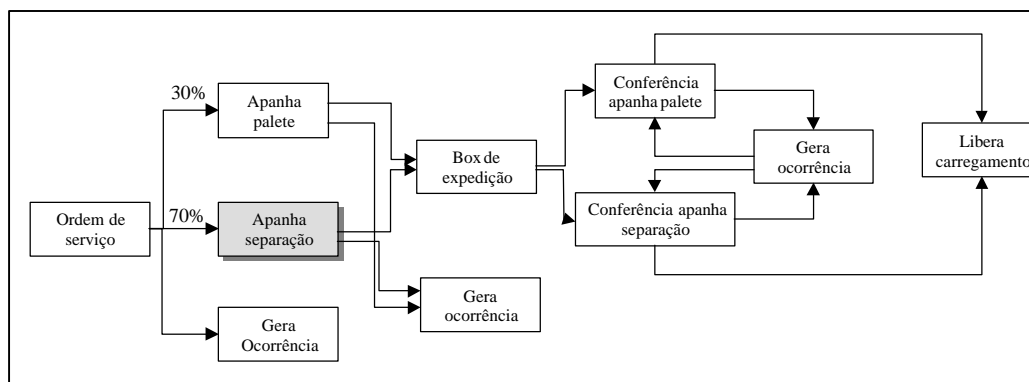


Figura 17: Fluxo de atividades da expedição.

Observa-se que a atividade com maior tempo de execução também representa maior grau de solicitação. Diante das análises do sistema, o grupo definiu que o objeto de estudo seria a atividade de *apanha separação* dada a importância da atividade e a concentração dos recursos.

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) a análise da performance e capacidade atual do sistema;
- b) identificar as principais restrições de capacidade do sistema;
- c) analisar formas de elevar a capacidade do sistema para atender os picos de demanda.

Com o desenvolvimento do projeto ocorreu o desdobramento do item c passando a incorporar nos objetivos a análise de sensibilidade do sistema a variações nas condições de entrada, verificando as influências no desempenho do sistema.

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 (Harrel e Tumay, 1995 *apud* Barrônio, 2000).

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

separação de pedidos, 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.

No decorrer do trabalho, outro fator externado pelo grupo foi quanto à capacidade da ferramenta em representar a complexidade de operação do sistema.

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 à atividade de separação de pedidos por paletes não completo sem abertura de volumes – atividade de *apanha separação* – que compreende o sub-sistema de separação de pedidos do processo de expedição de mercadoria de um único cliente do armazém geral em estudo. O grupo definiu a atividade de *apanha separação* para estudo, uma vez que esta atividade consome grande parte do tempo e recursos do armazém e é significativa nas características identificadas no perfil de pedidos do cliente, questão apresentada no item 4.2.1.2. – formulação do problema. A área analisada, onde ocorre esta atividade, corresponde aos primeiros andares da estrutura porta palete com aproximadamente 835 endereços de *apanha separação*;
- 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. As simplificações do modelo estão discutidas em detalhes no item 4.2.2.3 – simplificações e agrupamento na modelagem;

- c) Acuracidade dos Dados - a acuracidade dos dados está diretamente relacionada com a precisão dos resultados da simulação, uma vez que poderá implicar numa restrição de tempo para o projeto. No estudo o grau de acuracidade dos dados foi alinhado aos objetivos do projeto de simulação de forma a não prejudicar o desempenho do modelo. Todos os dados foram coletados junto à base de dados da empresa, ou seja, são dados reais de operação. Isso foi possível uma vez que o gerenciamento do armazém é automatizado (WMS Saga) e assim, todas as informações relativas às atividades ficam registradas numa base de dados da empresa. Com isso, o tempo para execução desta atividade foi bastante reduzido;
- d) Tipo de Experimento – Definiu-se utilizar os tempos reais de execução da atividade de apanha *separação* no período de uma semana referente ao pico do cliente no mês, o que caracteriza o modelo como sendo *determinístico e terminante*. Dadas estas características a simulação é *válida a partir dos minutos iniciais*. 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 18 para melhor entendimento do modelo de simulação.

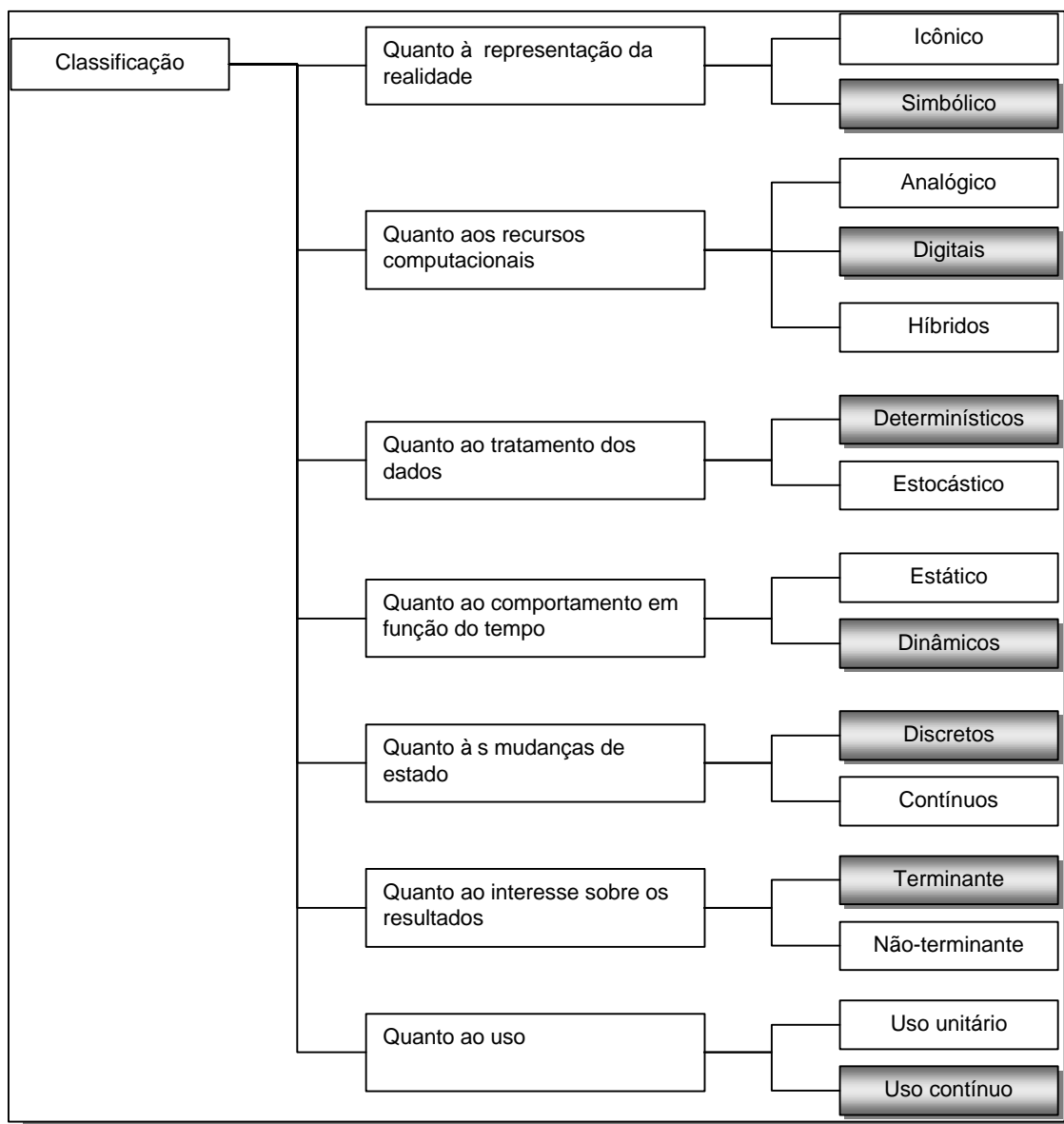


Figura 18: Classificação do modelo de *apanha separação*.

- e) Forma dos Resultados – os resultados do modelo buscaram representar o funcionamento real da atividade de *apanha separação*. Para tanto foram identificados indicadores de performance para a produção de paletes diária, e a produção de paletes por hora, além de serem registradas as chegadas de pedidos, o número de ordens de serviço aguardando e o número de paletes processados. 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.

4.2.2 Definição do Sistema e Modelo Conceitual

Nesta etapa foi desenvolvido o modelo teórico no qual o modelo de simulação está 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.

4.2.2.1 Identificação das relações de causa-efeito e fatores principais

O sistema real onde foi realizado o estudo de simulação computacional compreende na atividade de *apanha separação* de um único cliente (ver fluxograma do processo de expedição de mercadoria na figura 15). Os pedidos do cliente são enviados para o armazém via EDI e em seguida, caso todos os produtos existam no armazém, são geradas as ordens de serviço. No momento da geração das ordens de serviço o sistema WMS, automaticamente busca alocar as ordens para os funcionários disponíveis. Os separadores recebem a convocação via rádio e ao aceitarem a convocação iniciam a atividade de *apanha separação*.

A tabela 4 apresenta de forma simplificada os principais elementos que estão envolvidos com a atividade de *apanha separação*:

Tabela 4: Elementos da atividade de *apanha separação*

Elementos	Via	Responsável	Local	Condição	Gera
Pedido do cliente	EDI	Cliente	Sistema armazém	_ venda para cliente	- Liberação para geração ordens de serviço
Geração ordem serviço	Sistema WMS	Operador sistema	Sistema WMS	- Exista pedido do cliente. - Exista mercadoria no armazém; - Exista box de expedição livre.	- Ordens de serviço
Ordem de serviço	Rádio frequência	Sistema WMS	Sistema WMS	- Tenha sido gerada a ordem de serviço.	- Ordens de separação dos pedidos – convocação de serviço <i>apanha separação</i> .
<i>Apanha separação</i>	Rádio frequência	Separadores	Endereços nas estruturas porta-palete.	- Convocação de serviço;	- Liberação da conferência de separação. - Ocorrência de separação.

Com base no acompanhamento da operação de *apanha separação* realizada no armazém e em discussões realizadas com o grupo de trabalho foi montada uma matriz de relações. A matriz de relações elaborada representa o relacionamento entre os principais elementos de entrada do modelo e o grau de atuação do armazém geral nestes elementos (tabela 5).

Tabela 5: Matriz de relacionamento - elementos do modelo e grau de atuação.

Elementos do modelo			Possibilidade de atuação
Chegadas	Ordens de serviço	Tempo de chegada	○
		Quantidade	○
Recursos	Separadores	Quantidade	⊗
		Jornada de trabalho	⊗
Processos	Atividade separação	Tempo de processamento	∅
		Tempo de movimentação	∅

⊗ - forte relação ∅ - média relação ○ - fraca relação

Todos os elementos de entrada identificados possuem forte relação com a capacidade do sistema, porém cada elemento apresenta diferenciado grau de atuação por parte da gerência do armazém geral. Identificou-se *os elementos de recursos* com forte relação devido à facilidade de modificação nestes elementos pela gerência do armazém. Por sua vez, *os elementos de processos* foram identificados com média relação, uma vez que por serem elementos já considerados otimizados necessitariam de um estudo aprofundado para redução dos tempos de processo. Por fim, *os elementos de chegadas* representam fraca relação por dependerem de uma política de atuação conjunta entre a gerência do armazém e seu cliente.

A utilização da matriz de relacionamentos foi importante para orientar a identificação dos fatores principais do modelo pelo grau de atuação do armazém geral. Tal estrutura apresentou-se como uma importante ferramenta na fase de proposição dos cenários e melhorias para sistema.

4.2.2.2 Simplificação e Agrupamento na Modelagem

Uma das simplificações adotadas foi referente à representação dos endereços de apanha. Os separadores quando vão realizar a montagem do palete fazem a coleta em diversos endereços, muitos localizados na mesma rua. Para efeito de simulação, como o que importa é o tempo para execução da atividade de montagem do palete, os diversos endereços foram agrupados num único ponto representativo da rua.

Outra simplificação refere-se ao box de expedição. No sistema real, na expedição de mercadorias existe a separação dos lotes de pedidos por box de expedição. O box de expedição constitui numa área física, localizado na área de expedição, destinado a colocação dos novos paletes montados pelos separadores de acordo com as ordens de serviço. Assim, a cada lote de pedidos é alocado um box de expedição que receberá os paletes separados com sua respectiva mercadoria. Para efeitos do modelo considerou-se um único box de expedição.

Para execução da atividade os separadores sempre utilizam alguns recursos tais como paleteiras, rádios coletores e paletes. Na modelagem, estes recursos foram suprimidos por estarem sempre associados à atividade do separador.

Uma outra simplificação importante considerada foi quanto ao tempo de execução da atividade de *apanha separação*. Na base de dados da empresa o tempo de processamento da atividade e o tempo de movimentação são registrados num único dado. Dessa forma, como não era possível identificar o tempo real da movimentação nem o tempo real para a execução da atividade, optou-se por considerar este tempo como sendo o tempo de processamento da atividade. Para que o tempo de movimentação não interferisse no modelo, dado que o software associa ao tempo de movimentação o tempo levado para percorrer uma distância a uma velocidade de deslocamento informado pelo modelador, considerou-se uma elevada velocidade de deslocamento. Este fato foi uma das restrições do modelo visto que afetou o potencial de análise dos tempos de movimentação e atividade da separação de pedidos.

4.2.2.3 Identificação dos Elementos de Entrada e dos Elementos de Resposta

Os elementos de entrada definem o funcionamento do sistema; no modelo foram definidos os elementos apresentados na tabela 6.

Tabela 6: Elementos de entrada do modelo.

Tipo	Elementos de entrada
Ordens de serviço	Horário de chegada das ordens de serviço
Separadores	Número de separadores Jornada de trabalho
Atividade de <i>apanha palete</i>	Tempo de execução da atividade Roteiro com endereços para formação do palete

Os elementos de respostas representam as saídas do sistema a um dado conjunto de elementos de entrada. Estes elementos propiciam a validação do modelo através de comparações com medidas do sistema real e, por isso, foram associados aos objetivos do projeto de simulação. Também identificam a performance do sistema modelado, uma vez que estes elementos representam medidas de desempenho do sistema. Os indicadores adotados para avaliar o desempenho do processo de separação encontram-se representados na tabela 7.

Tabela 7: Elementos de resposta do modelo.

Natureza do indicador	Elementos de resposta
Eficácia	Nº paletes separados/nº paletes gerados
Produtividade parcial	Nº paletes separados/dia. Nº paletes separados/hora.
Utilização de recursos (separadores)	Duração atividade/capacidade efetiva do sistema

4.2.2.4 Tratamento dos Dados

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 às características do gerenciamento do armazém ser totalmente automatizado. 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 de gráficos e análises. Com os recursos atuais disponíveis na planilha eletrônica, como tabela dinâmica, o tempo para formatação dos dados foi bastante reduzido.

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 8 apresenta-se os principais elementos definidos no modelo. Os elementos que constituem o modelo podem ser visualizados na figura 19 que segue.

Tabela 8: Elementos do modelo computacional.

Elementos do modelo	Descrição e características
- <i>layout</i>	O <i>layout</i> da área de porta palete, destinada a operação de <i>apanha separação</i> , foi construído em escala e convertido em arquivo de imagem do tipo bmp. O arquivo de imagem é inserido no software de simulação como um gráfico de fundo. Em cima deste gráfico é que foram construídos os demais elementos do modelo.

- Locais (<i>locations</i>):	Os locais inseridos no modelo representam as ruas (18 locais), o local aonde chegam as ordens de serviço (Saga – 1 local) e o box de expedição (1 local). Todos foram considerados com capacidade infinita.
- Entidades (<i>entity</i>):	As entidades representam as ordens de serviço para montagem de um palete. Para identificar o período de simulação foram analisados relatórios gerenciais com a movimentação da carga expedida sendo identificado uma semana de pico correspondente à 6 dias. Cada ordem de serviço representou a construção de uma entidade no modelo computacional.
- Recursos (<i>resources</i>):	Os recursos utilizados na atividade foram representados na figura do separador. A utilização dos recursos foi monitorada de forma a identificar a performance do sistema.
- Redes de percurso (<i>path networks</i>)	As redes de percurso que representam a rede de deslocamento dos recursos no modelo foram construídas a partir dos possíveis deslocamentos dos separadores. Foi criada uma única rede de deslocamento para todos os recursos do sistema. Vale referir que o tempo de deslocamento, para efeitos do modelo, foi bastante elevado de modo a não interferir no tempo de execução da atividade (item 4.2.2.2 – Simplificação e Agrupamento na Modelagem).
- Processos (<i>process</i>):	Os processos foram construídos a partir do fluxo das entidades. Para alimentar o modelo com os roteiros de cada formação de palete com seu respectivo tempo de execução foram utilizados arquivos externos de planilhas eletrônicas.
- Turnos (<i>shifts</i>):	Foi criado um turno de trabalho respeitando período de paradas do sistema real.
- Variáveis (<i>variables</i>):	Este elemento foi utilizado para suportar o armazenamento de dados de performance do sistema modelado. Algumas variáveis criadas foram o número de paletes a ser processado, o número de paletes processados acumulado, o número de paletes processados ao dia.

A figura 19 apresenta o modelo computacional desenvolvido.

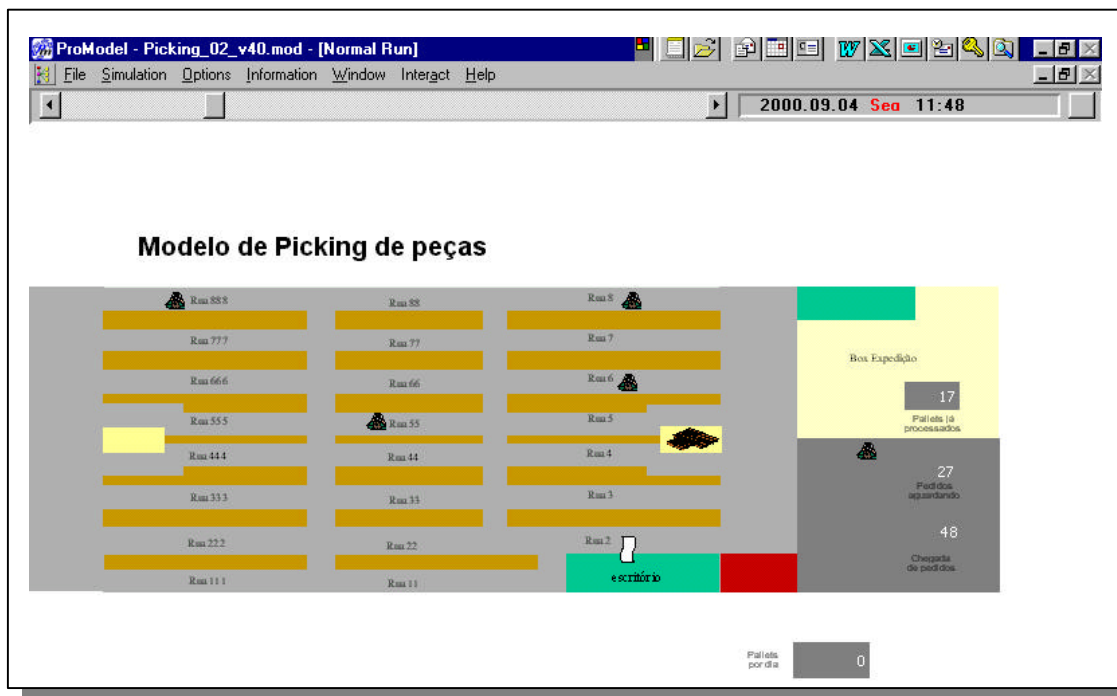


Figura 19: Modelo computacional.

4.2.3.2 Verificação do Modelo

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.

Na verificação do modelo fez-se uso das técnicas mais comuns utilizadas para identificação de problemas com programas computacionais⁸. 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.

⁸ maiores detalhes ver Law e Kelton, 1991, Pegden *et al.*, 1990, Barrônio, 2000 e Oliveira, 2000.

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.

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.

4.2.3.3 Validação do Modelo

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 (Pegden et al., 1990). Os indicadores apresentados na tabela 7 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 gerados no período de análise (6 dias), o que se verificou ao rodar o modelo.

No capítulo 5, são apresentados e comparados os desempenhos do sistema real e do modelo.

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 de os atores 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 compreensão do comportamento do sistema, obtida na construção e validação do cenário 1, novas percepções foram geradas e verificou-se a necessidade de se acrescentar mais um elemento de entrada do modelo, não definido inicialmente na Tabela 5 – item 4.2.2.1, de modo a representar a perda no sistema. Essa perda não tinha sido definida no início dos trabalhos devido às crenças e pressupostos vigentes de que os atrasos na separação de pedidos eram gerados principalmente pela irregularidade do perfil de demanda. Desta forma, se pensava na perda somente como variável de resposta, e, portanto, não tinha sido incorporado ao modelo computacional por ter sido considerada um elemento não-significativo.

Assim sendo, a variável “perda” foi definida a partir da discussão em grupo e foi classificada em três tipos básicos, a saber:

- ◆ *perdas normais*: representa o não uso da capacidade do sistema devido às saídas dos separadores do ambiente do trabalho por questões fisiológicas. Estimou-se que esta perda deveria ficar em torno de 10%;
- ◆ *perda de serviço*: representa a falta de demanda de serviços devido ao perfil de pedidos. A partir da análise dos dados verificou-se que no período esta perda representava menos de 2% do tempo de trabalho; e
- ◆ *perda anormais*: devido à indisponibilidade dos separadores para a execução da atividade de separação por motivos alheios. Como por exemplo quando o separador está deslogado da sua função para resolução de alguma

ocorrência de falta e/ou avaria ou executando uma outra atividade. Esta perda estimada em 11,16% foi identificada como uma das principais causas da perda de capacidade do sistema, constituindo em oportunidade de melhorias para sistema.

Os desenvolvimentos dos cenários alternativos parte da redução das *perdas anormais* e da manipulação dos elementos descritos na matriz de relacionamento da Tabela 5. Quanto aos elementos da matriz, as alternativas de operação do sistema (cenários) podem ser determinadas a partir de variações nos elementos de *chegadas*, de *recursos* e/ou de *processos*.

A variação nos parâmetros do *processo*, tais como o tempo de processamento da atividade e tempo de movimentação, foi identificada pelo grupo de trabalho como potencial para análise de projetos futuros. Caso esta alternativa viesse a ser incorporada aos cenários, a construção do modelo conceitual e, conseqüentemente, a construção do modelo computacional deveria ser revista a fim de agregar ao modelo as novas variáveis do sistema para representar a variabilidade do sistema quanto a esses parâmetros.

Tendo em vista o objetivo do projeto de simulação e as restrições de tempo para execução do trabalho, identificou-se como potencialidade de análise as variações nos elementos de *chegada* (ordens de serviço geradas a partir da chegada dos pedidos do cliente) e nos elementos de *recursos* utilizados na operação. Todavia, o grupo decidiu não elaborar cenários a partir de modificações no elemento *chegadas de pedidos* por não ter poder sobre a geração de pedidos. Esta variável é dependente das políticas de vendas dos clientes.

Sendo assim, a criação de cenários foi desenvolvida a partir da redução das *perdas anormais* e variação dos elementos de *recursos*. Cabe ressaltar que no modelo as perdas normais e anormais estão consideradas de forma agregadas, chamadas a partir deste ponto somente de perdas. Através da criação de cenários busca-se identificar o impacto de políticas de redução de perdas no sistema real.

A redução das *perdas* foi dimensionada a partir de um processo de tentativa e erro. Foram fixadas algumas alterações nos elementos de entrada do modelo e introduzida

uma perda calibrada de modo que a demanda de separação de pedidos do período fosse atendida. Os cenários construídos com a variação dos parâmetros são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Cenários para simulação

Cenários	Parâmetros de entrada	Comentários
Cenário 1 – situação atual	Horizonte de simulação	Seis dias
	Horário de chegada das ordens de serviço	Horário do sistema real
	Número de separadores	5 separadores + 2 separadores no sábado
	Jornada de trabalho	Horário de sistema real, incluindo 2 horas-extras na sexta-feira
	Tempo de execução da atividade	Tempo do sistema real
	Roteiro com endereços para formação do palete	Roteiro do sistema real
	Perdas (normais + anormais)	Sistema real (21,16%)
Cenários propostos	Parâmetro de entrada modificado	Comentários
Cenário 2	Perdas (normais + anormais)	16,87%
Cenário 3	Número de separadores	5 separadores + 1 separador no Sábado
	Perdas (normais + anormais)	17,46%
Cenário 4	Jornada de trabalho	Horário de sistema real, sem horas-extras
	Perdas (normais + anormais)	17,23%
Cenário 5	Número de separadores	5 separadores + 1 separador no sábado
	Jornada de trabalho	Horário de sistema real, sem horas-extras
	Perdas (normais + anormais)	12,29%

A tabela 10 apresenta um quadro resumo para os cenários criados com os elementos de entrada do sistema.

Tabela 10: quadro resumos dos cenários - elementos de entrada

	Hora-Extra	n° separadores	Perdas
Real	S	7	21.16%
Cenário 1	S	7	21.16%
Cenário 2	S	7	16.87%
Cenário 3	S	6	17.46%
Cenário 4	N	7	17.23%
Cenário 5	N	6	12.29%

Os resultados da simulação para cada um destes cenários estão descritos e analisados no próximo capítulo.

CAPÍTULO 5 – ANÁLISE DA SIMULAÇÃO

5.1 Resultados obtidos com a simulação computacional

Este item descreve os resultados obtidos da simulação computacional para todos os cenários simulados e inicia com a descrição do cenário representativo do sistema real. A construção de cenários tem como objetivo analisar alternativas para uma situação específica na atividade de *apanha/palete*.

5.1.1 Apresentação e interpretação dos resultados

A análise e interpretação dos resultados de cada cenário são apresentadas a seguir.

5.1.1.1 Cenário 1 – situação real

Este cenário representa o comportamento do sistema real segundo os parâmetros e políticas operacionais atualmente em vigor na empresa em questão. Foi considerada a utilização de 2 horas-extras por funcionário no quinto dia de simulação, utilização de 5 separadores durante o período de simulação, com a inclusão de 2 separadores no último dia.

O indicador de utilização de recursos que corresponde à relação entre o tempo utilizado para execução da atividade (duração da atividade) e o tempo disponível no sistema real para execução da atividade (capacidade efetiva do sistema) no período de análise foi de 76,94%. Identificou-se uma perda de 23,06% no sistema atribuída da seguinte forma: 21,16% de perdas (normal e anormal) e 1,90% de perda de serviço. Assim sendo, com base na análise de dados do sistema real, foi inserida no modelo *perdas* de 21,16%.

Os resultados deste cenário são descritos e analisados em comparação com o desempenho real do sistema na seqüência. A Figura 20 representa o comportamento do indicador de eficácia de separação, que mede a relação entre o número de paletes separados e o número de paletes gerados. Cabe referir que o grupo de trabalho determinou que os pedidos não atendidos no dia anterior deveriam ser acrescentados na demanda do dia seguinte. A política de operação da empresa estabelece que esses pedidos têm prioridade de execução no início do dia.

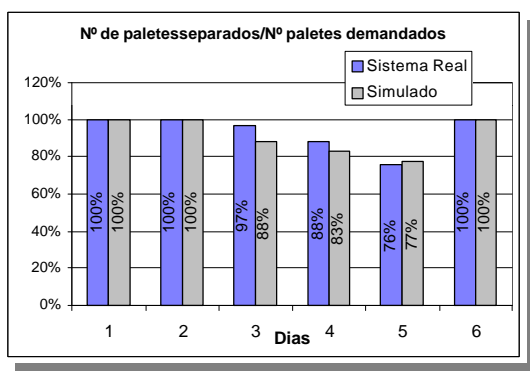


Figura 20: Indicador de eficácia de separação – comparação entre o sistema real e o cenário 1 ($r^2=0.9195$).

Pode-se notar que o indicador de eficácia de separação do cenário 1 no modelo de simulação acompanhou o desempenho real, apresentando uma correlação (r^2) de 0.9195 entre os dados gerados e os dados reais. É importante observar que o sistema real não está no seu desempenho máximo, porém este se encontra dentro dos índices de performance estabelecidos como aceitáveis.

As Figuras 21 e 22 representam o comportamento dos indicadores de produtividade número de paletes separados/dia e número de paletes/hora, respectivamente, para o cenário 1 e para o sistema real.

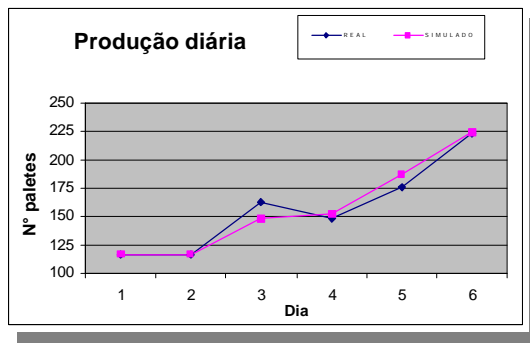


Figura 21: Indicador Produtividade diária - comparação entre o sistema real e o cenário 1 ($r^2=0.9791$).

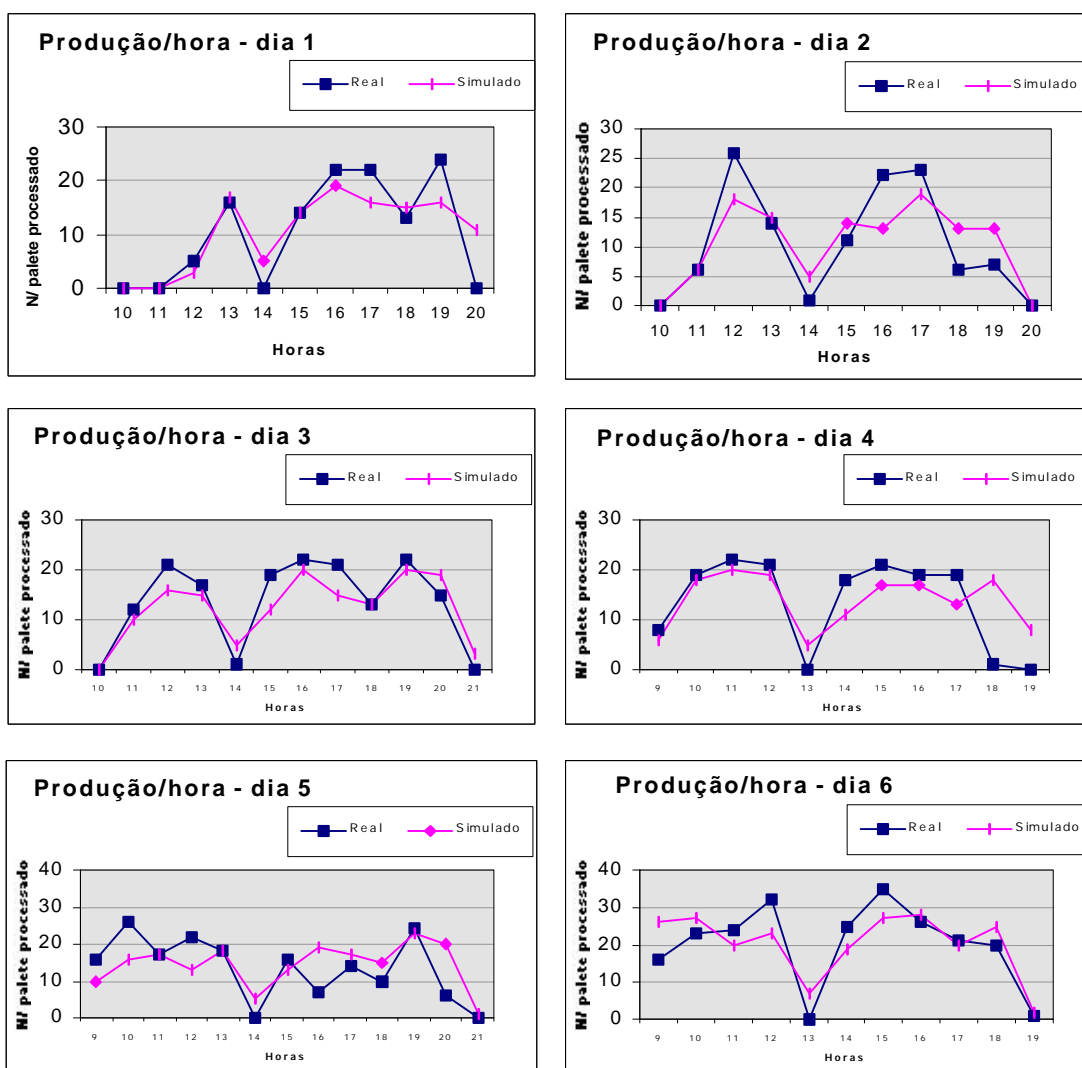


Figura 22: Indicador Produtividade Horária - comparação entre o sistema real e o cenário 1 ($r^2=0.8750$)

A análise do conjunto dos elementos de resposta identificados na Tabela 7 para o cenário 1 e para o sistema real demonstra que o modelo computacional é capaz de representar a realidade, constatados pelos altos índices de correlação para cada elemento de resposta ($r^2= 0,9791$ para indicador de produtividade diária e $0,8750$ para indicador de produtividade diária). A pequena discrepância entre os resultados e a realidade pode ser atribuída às simplificações do modelo, sugerindo que existem fatores exógenos ao modelo que são próprios da realidade estudada, tais como fatores inerentes ao comportamento humano.

Entende-se que as diferenças verificadas no desempenho não são capazes de comprometer a consistência do modelo computacional elaborado. Assim, considerando-se que há correspondência entre os desempenhos observados na atividade real e os resultados obtidos na simulação e que o modelo atendeu toda a demanda de trabalho gerada no período, admitiu-se como validado o modelo.

5.1.1.2 Cenário - 2

Este cenário representa as mesmas condições do cenário 1, com exceção da perda, que foi definida em 16,87%. O objetivo consiste em visualizar o impacto da redução das perdas sobre a eficácia do sistema. As Figuras 23 e 24 apresentam os resultados encontrados na simulação.

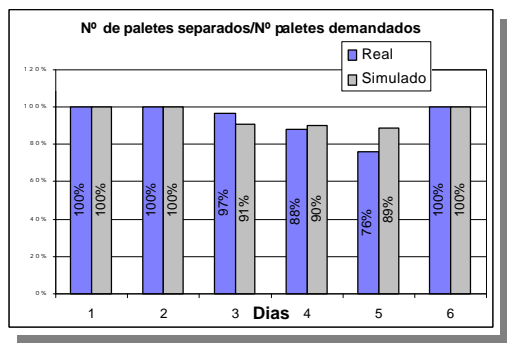


Figura 23: Indicador de eficácia de separação – cenário 2.

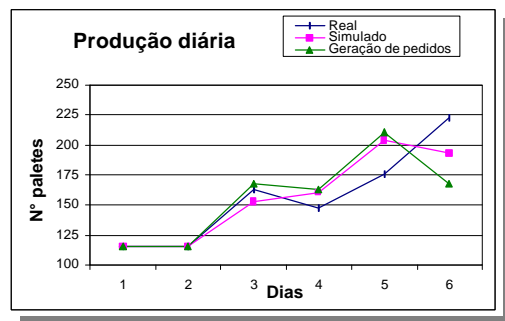


Figura 24: Indicador Produtividade Diária - cenário 2.

A redução da perda em 4,29 pontos percentuais gerou um nível de eficácia de separação em torno de 90% nos dias críticos do período (3º, 4º e 5º dias), apresentado na figura 23. Tal fato ocorreu porque nestas condições os separadores estão disponíveis por mais tempo ao sistema para atender a demanda, o que representou uma melhoria no desempenho. O reflexo desta melhoria pode, também, ser visualizado pela produção diária do cenário 2, figura 24. A maior disponibilidade dos separadores fez com que a produção dos dias críticos fosse superior à produção real, aproximando-se do número de pedidos gerados no dia.

Quando ao indicador de utilização de recursos verifica-se na tabela 11 que o indicador permaneceu constante no cenário 2. Tal fato ocorreu porque não foram alteradas as variáveis de processo que determina a duração da atividade e nem as variáveis de recursos que determinam a capacidade efetiva do sistema.

Tabela 11: Indicador de utilização de recursos e perdas do sistema – cenário 2.

	Real	Cenário 2
Utilização	76,94%	76,94%
Perdas do sistema	23,06%	23,06%
Perda serviço	1,90%	6,18%
Perdas	21,16%	18,87%

Observa-se, no entanto, que a redução das perdas do sistema foi transferida para a perda de serviço. Ao se reduzir a perdas os separadores estavam disponíveis mais cedo para iniciar outra atividade. Ocorre que com maior frequência não estava disponíveis novas ordens de serviço para início de novas atividades.

Destacam-se como principais conclusões obtidas a partir deste cenário:

- ◆ Políticas de redução de perdas são benéficas para o desempenho do sistema melhorando o indicador de eficácia do sistema;
- ◆ A produtividade diária melhorou reduzindo o acúmulo de serviço nos últimos dias do período;
- ◆ A adoção de políticas de redução de perdas deve implicar no estudo da influência da geração das ordens de serviço no desempenho do sistema.

5.1.1.3 Cenário - 3

Este cenário representa a redução de 1 separador no Sábado e perda de 17,46%. Foi considerada a utilização de 5 separadores durante o período de análise com a inclusão de 1 separador no último dia, a utilização de 2 horas-extras por funcionário no quinto dia e a perda definida em 17,46%. O objetivo deste cenário é verificar se com políticas de redução de perdas poderia ser reduzido um funcionário extra no último dia de atividade sem comprometimento da eficácia do sistema.

As Figuras 25 e 26 apresentam os resultados dos indicadores de eficácia e produtividade diária obtida com a simulação.

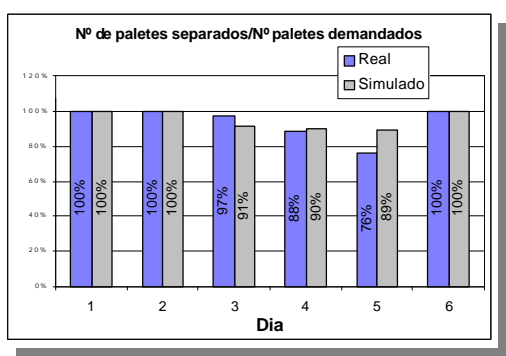


Figura 25: Indicador de eficácia de separação – cenário 3

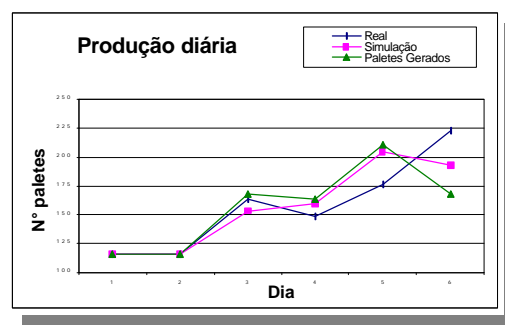


Figura 26: Indicador Produtividade Diária - cenário 3.

Verificou-se neste cenário que políticas de redução das perdas podem reduzir o número de separadores extra no último dia sem comprometimento da eficácia do sistema. Na tabela 12 observa-se que com a redução de um separador o indicador de utilização foi melhorado. Sendo assim, com a redução da perda foi possível melhorar tanto o indicador de utilização de recursos quanto o indicador de eficácia e produtividade diária.

Tabela 12: Indicador de utilização de recursos e perdas do sistema – cenário 3.

	Real	Cenário 3
Utilização	76,94%	79,60%
Perdas do sistema	23,06%	20,40%
Perda serviço	1,90%	2,95%
Perdas	21,16%	17,46%

Principais conclusões obtidas a partir deste cenário:

- ◆ Políticas de redução de perdas podem reduzir o número necessário de separadores no final do período;
- ◆ Com a redução das perdas a produtividade diária melhorou, reduzindo o acúmulo de serviço nos últimos dias do período (por isso não foi necessário a inclusão de 1 separador);
- ◆ Com a redução do número de separadores e perdas do sistema os separadores foram melhor aproveitados, verificado pelo indicador de utilização de recursos.

5.1.1.4 Cenário 4

Neste cenário foram considerados os mesmos parâmetros do cenário 1 com a exclusão de horas-extras e redução da perda. Assim sendo, utilizou-se 5 separadores durante o período de simulação, com a inclusão de 2 separadores no último dia, sem hora extra no quinto dia e perda de 17,23%. O objetivo consiste em observar se com a redução de perdas o sistema possui capacidade operacional para atender à demanda sem a necessidade de horas.

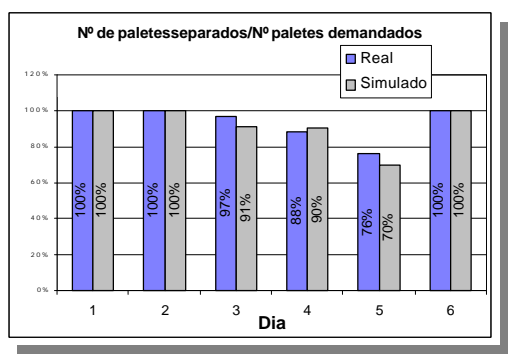


Figura 27: Indicador de eficácia de separação – cenário 4.

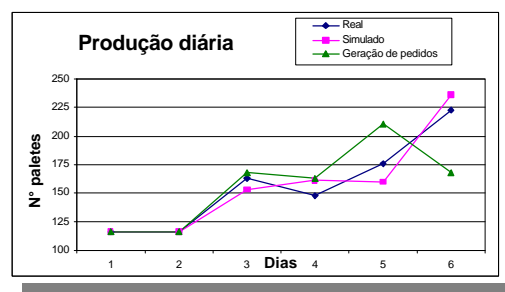


Figura 28: Indicador Produtividade Diária - cenário 4.

Com a política de redução de perdas para 17,23% e com a eliminação das horas-extras no quinto dia de atividade verifica-se uma piora significativa no indicador de eficácia (figura 27). Tal constatação também é verificada na produção diária conforme figura 28. Observa-se que no quinto dia a produtividade acaba ficando abaixo da realizada.

A tabela 13 mostra que o indicador de utilização apresentou uma melhora, porém, a melhora não se verificou nos demais indicadores. Tal fato sugere que a redução de perdas adotada, apesar de cobrir a não utilização de horas-extras, não foi suficiente para manter a eficácia do sistema.

Tabela 13: Indicador de utilização de recursos e perdas do sistema – cenário 4.

	Real	Cenário 4
Utilização	76,94%	80,11%
Perdas do sistema	23,06%	19,89%
Perda serviço	1,90%	2,67%
Perdas	21,16%	17,23%

Principais conclusões obtidas a partir deste cenário:

- ◆ A redução das horas-extras no quinto dia de atividades fez com que a produtividade do dia fosse inferior à demanda, ocasionando uma piora no indicador de eficácia;
- ◆ Políticas de redução de perdas podem refletir uma diminuição dos custos por hora-extra do sistema;
- ◆ O impacto de alterações no sistema deve ser avaliado em todos os indicadores de resposta. A melhora de um indicador local não necessariamente ocasionará a melhora no desempenho global do sistema;

5.1.1.5 Cenário 5

Este cenário envolveu uma política rígida de melhoria no sistema visando à redução de custos com manutenção da qualidade de serviço através de uma forte redução nas perdas e recursos envolvidos. Foram utilizados 5 separadores sem hora-extra e incluído apenas 1 separador extra no sábado. Para que a separação concluísse toda a demanda de serviço do período foi necessário adotar uma perda de 12,29% o que corresponde a uma perda anormal de 2,29%, uma vez que se considera aceitável uma perda normal de 10%.

As figuras 29 e 30 apresentam os resultados obtido na simulação.

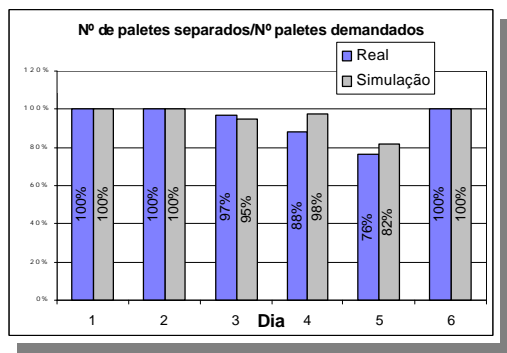


Figura 29: Indicador de eficácia de separação – cenário 5.

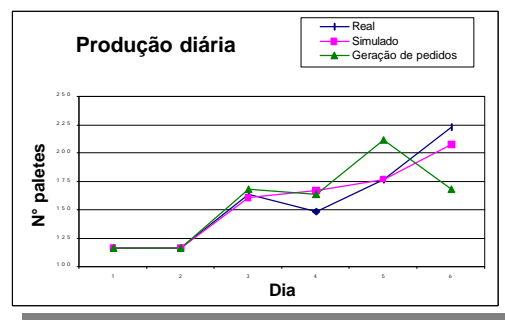


Figura 30: Indicador Produtividade Diária - cenário 5.

Verifica-se nos resultados obtidos que a redução da perda inserida no modelo permitiu um elevado desempenho nos dias críticos dos sistemas. Nos 3º e 4º dias os indicadores de eficácia foram superiores a 95% e no 5º ficou em torno de 82%. Este último também apresenta um nível de serviço aceitável considerando-se o volume de pedidos a ser atendido no dia e a exclusão das horas-extras. Com este desempenho a demanda de serviço do último dia foi balanceado o que reduziu a necessidade de 1 separador extra.

Tabela 14: Indicador de utilização de recursos e perdas do sistema – cenário 5.

	Real	Cenário 5
Utilização	76,94%	82,80%
Perdas do sistema	23,06%	17,20%
Perda serviço	1,90%	4,91%
Perdas	21,16%	12,29%

A política rígida adotada neste cenário identificou a importância de estudos para redução de perdas. Com a redução das perdas no processo foi possível eliminar a necessidade de horas-extras e a necessidade de utilização de 1 separador extra no último dia do período.

5.1.1.6 Resumo dos experimentos realizados

A tabela 15 apresenta um resumo dos experimentos realizados com seus respectivos resultados. Os parâmetros de entrada modificados foram a utilização de horas-extras no quinto dia de atividade, número de separadores no sistema com a inclusão de 1 ou 2 separadores no último dia de atividade.

Tabela 15: Resumo do experimento realizado

	Hora-Extra	n° separadores	Perdas	Utilização de recursos	Perda serviço	Perda do sistema	Eficácia do período
Real	S	7	21.16%	76.94%	1.90%	23.06%	94%
Cenário 1	S	7	21.16%	76.94%	1.90%	23.06%	91%
Cenário 2	S	7	16.87%	76.94%	6.18%	23.06%	95%
Cenário 3	S	6	17.46%	79.60%	2.95%	20.40%	95%
Cenário 4	N	7	17.23%	80.11%	2.67%	19.89%	92%
Cenário 5	N	6	12.29%	82.80%	4.91%	17.20%	96%

Elementos de entrada do sistema

Perda sistema = P. normais + P. anormais + P. serviço

5.1.2 Oportunidades de Melhoria

A partir dos resultados obtidos com o experimento o grupo identificou como ponto de melhoria a atuação na redução de perdas do sistema. Sendo assim, a discussão principal foi focalizada em políticas de redução das perdas, identificadas como perdas anormais.

A oportunidade de melhoria identificada foi o desenvolvimento de horários fixos de paradas para descanso ao longo da jornada de trabalho. Estes horários devem ser definidos a partir da produtividade dos funcionários adotando um tempo de parada a um determinado número de paletes separados. Entende-se que estabelecendo horários fixos de parada, além de melhorar as condições de trabalho, permite estabelecer uma redução nas perdas anormais do sistema.

O efeito desta política seria a melhor gestão das perdas anormais do sistema, o que acarretará numa melhor distribuição de atividades e utilização dos recursos.

5.2 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, 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.

A oportunidade de melhoria proposta e apresentada, qual seja, adoção de horário fixo de parada durante a jornada de trabalho na semana de pico do cliente, foi recebida positivamente. Para sua efetiva aplicação na organização, impõe-se o desenvolvimento de um projeto piloto para definição de parâmetros, implementação e análise de resultados.

O projeto piloto está na fase de definição de parâmetros que, constitui, inicialmente, na análise de outras semanas de pico para identificação das perdas e posterior definição de horários de parada a serem inseridos ao longo da jornada. O objetivo deste projeto piloto é criar uma condição característica para a operação das atividades nas semanas de pico visando a uma melhor eficiência e eficácia do sistema em estudo.

CAPÍTULO 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 propostas para realização de estudos futuros.

O principal objetivo deste estudo foi analisar as potencialidades de uso de simulação computacional em atividades de um armazém geral. A identificação das potencialidades de uso da ferramenta foi obtida através do desenvolvimento de um estudo de caso em um armazém geral. 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 um armazém geral e na utilização da ferramenta de simulação neste tipo de organização.

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 conhecimentos válidos e verdadeiros.

6.1 Avaliação do projeto de simulação desenvolvido

O modelo computacional construído, apesar das simplificações adotadas, 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 prova a utilidade da ferramenta quando se trata com problemas complexos. Assim, entende-se que os resultados trouxeram um avanço no entendimento do problema e abriram novas portas para futuros estudos. 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. 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 criar horários definidos de parada para descanso ao longo da jornada de trabalho. Os horários devem ser definidos a partir da produtividade dos funcionários, ou seja, a cada número específico de paletes separados corresponderia um tempo de descanso. Entende-se que estabelecendo horários fixos de parada, além da melhora nas condições de trabalho, permite estabelecer uma redução nas perdas do sistema consideradas anormais.

Neste sentido, o resultado mais significativo que está sendo implementado como projeto piloto é a análise de outras semanas de pico para identificação das perdas e definição de horários de parada a serem inseridos ao longo da jornada. O objetivo consiste em criar uma condição característica para a operação das atividades nas semanas de pico visando a uma melhor eficiência e eficácia do sistema.

6.2 Avaliação do estudo realizado

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

- ◆ o estudo permitiu que se lançasse a primeira “semente” para despertar o interesse da utilização da ferramenta na organização em estudo. Identificou-se a partir deste projeto inicial diversas aplicações da simulação tanto no armazém geral da empresa, terminais de cargas - análises do micro ambiente - quanto na malha de rotas da empresa - análises do macro ambiente.
- ◆ 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.
- ◆ melhor entendimento do funcionamento do armazém geral e, principalmente, da atividades de *apanha separação* objeto de estudo do trabalho.
- ◆ 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 de funcionamento do armazém.
- ◆ permitiu que se entendesse melhor a aplicabilidade da ferramenta de simulação computacional na organização em estudo.

6.3 Potencialidades do uso da Ferramenta de Simulação Computacional

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

- ◆ através do desenvolvimento do projeto de simulação foi possível aos envolvidos no projeto o entendimento do sistema em termos de capacidade operacional e inter-relações de variáveis, facilitando a identificação e avaliação de melhorias do sistema.
- ◆ 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.

◆ quanto à utilização da ferramenta no processo de separação de pedidos: ao longo do desenvolvimento do projeto de simulação, com o aumento do entendimento dos processos de separação, as pessoas identificaram novas aplicações da ferramenta. Por exemplo, o estudo da disposição das mercadorias nos porta-paletes reservados para essa atividade de *apanha separação* de pedidos. Neste caso, deveria ser desenvolvido um novo projeto para incluir outras variáveis, desenvolver um novo modelo conceitual, considerar as variabilidades do sistema.

◆ 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.

Por fim, entende-se que os armazéns gerais dotados de sistema de gerenciamento automatizado apresentam um grande potencial para desenvolvimento de projetos de simulação. 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 o acaba por incrementar o tempo de desenvolvimento do projeto. Porém, neste tipo de organização, são armazenadas em bancos de dados grande parte dos tempos de execução das atividades, assim sendo, a coleta de dados se torna bastante facilitada.

6.4 Proposta para estudos futuros

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

◆ Desenvolvimento de projetos de simulação computacional para análise sistêmica dos processos de armazém geral com a inclusão dos diversos clientes do armazém e os custos das atividades;

- ◆ Aplicação de modelos de simulação computacional junto aos sistemas de gerenciamento de armazém (WMS), de forma a permitir a visualização das atividades em tempo real integrado aos indicadores gerenciais da organização;
- ◆ Utilizar outras formas de aprendizado que atuem sinergicamente com a simulação computacional, como por exemplo, a utilização das ferramentas do pensamento sistêmico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

BANZATO, Eduardo, FONSECA, Luiz Roberto P. da. Separação de pedidos – 4º parte série projete o seu armazém. *Revista Movimentação e Armazenagem*. São Paulo: IMAM, p. 6-10, jul./ago. 1999.

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.

BLAU, Peter M., SCOTT, W. R. *Organizações formais: uma abordagem comparativa*. São Paulo: Atlas, 1979.

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.

BOWERSOX, Donald J. *Logistical Management: a systems integration of physical distribution, manufacturing support, and materials procurement*. 3º 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 1º 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: Springer-Verlag, 1991.
- FUSCO, A. C. Hospital Albert Einstein: Usamos e aprovamos o Medmodel. *Boletim Fluxus – Boletim informativo da Promodel*. São Paulo, nº1, 1997.
- GERENCIAMENTO da logística e cadeia de suprimentos/Logística training international; tradução Sônia Mello*. São Paulo: IMAM, 1996.
- GOLDRATT, Eliyahu. *Mais que sorte... um processo de raciocínio*. São Paulo: Educator, 1994.
- GUIA supply Chain. *Suplemento da Revista Tecnológica*. São Paulo: ABML. Maio de 1998.
- HALL, Randolph W. Research opportunities in logistics. *Transportation Research – A*. Vol. 19^A, nº 5/6, pp. 399-402, 1985.
- INGALLS, Ricki G., KASALES, Cynthia. CSCAT: the Compaq supply chain analysis tool. In *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, eds. P.A. Farrington, H.B. Nembhard, D.T. Sturrock e G.W. Evans, 1201-1206. IEEE, Piscataway, New Jersey.
- KAIBARA, Marly Mizue. *A evolução do relacionamento entre clientes e fornecedores – um estudo de suas principais características e contribuições para a implantação da filosofia JIT*. Dissertação de Mestrado, Florianópolis: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção/ Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.
- KOSFELD, Mark. Warehouse design through dynamic simulation. In *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*. Eds.D. J. Medeiros, E.F. Watson, J.S. Carson and M.S. Manivannan, 1049-1053. IEEE, Piscataway, New Jersey.

- 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>
- LACERDA, Leonardo. Armazenagem estratégica: analisando novos conceitos. *Publicação do Centro de Estudos em Logística*, Rio de Janeiro, 2000.
www.coppead.ufrgs.br/pesquisa/cel/new/fr-conceitos.htm
- LACERDA, Leonardo. Automação na armazenagem: desenvolvimento e implementando projetos de sucesso. *Publicação do Centro de Estudos em Logística*, Rio de Janeiro, 1999.
www.coppead.ufrgs.br/pesquisa/cel/new/fr-autom.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.
- 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 1ª Conferência Latino Americana de Simulação e Usuários Promodel, Innovation 99*. São Paulo, dezembro 1999.
- MANUAL de operação e supervisão SAGA WMS*. Belo Horizonte: S&A Sistemas e Automação Ltda, 2000.
- MARINO, Silvia. *Revista Tecnológica*. Ano V, nº 46, setembro 1999.
- MENEZES, Alex F. S., RODRIGUES, Luís Henrique. Breves considerações sobre a flexibilidade e o grau de especialização técnica das ferramentas de simulação computacional. *Anais do 15º ENEGEP*. Outubro 1996, Piracicaba, SP.
- MOURA, Reinaldo A. *Manual de logística: armazenagem e distribuição física*. São Paulo: IMAM, vol. 2, 2º ed., 1997.

- NAZÁRIO, Paulo R. S. *et al.* Modelo de simulação em operações portuárias. *Publicação do Centro de Estudos em Logística*, Rio de Janeiro, 1998. www.coppead.ufrj.br/pesquisa/cel/new/fs-public.htm
- NISHIMURA, Gerson e BATISTA JR, Edgard Dias. Estudo comparativo entre softwares de simulação de sistemas. *Anais do 15º ENEGEP*. Outubro 1996, Piracicaba, SP.
- NOVAES, Antônio Galvão. *Notas de aula Módulo 1*. Disciplina Logística 1, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999a.
- NOVAES, Antônio Galvão. *Notas de aula*. Disciplina Logística 1, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999b.
- OLIVEIRA, L. HANSEN, P. *Notas de aula*. Disciplina de Simulação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, PPGEP, 2000.
- PEGDEN *et al.* *Introduction to simulation using SIMAN*. São Paulo: Ed. McGraw Hill, 1990.
- PIDD, Michael. Simulating automated food plants. *Journal of the Operation Research Society*, 38, 8, 683-692.
- PIDD, Michael. *Modelagem empresarial: ferramentas para tomada de decisão*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.
- PORTER, M.E. *Estratégia Competitiva*. Rio de Janeiro: Campus, 1986.
- REVISTA movimentação e armazenagem*. Armazéns gerais estão transformando-se em centros logísticos. Número 112, set/out 1999, p.72-74.
- 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
- RODRIGUES, Alexandre Medeiros. Estratégias de picking na armazenagem. *Publicação do Centro de Estudos em Logística*, Rio de Janeiro, 1999. www.coppead.ufrgs.br/pesquisa/cel/new/fr-picking.htm .

- RODRIGUES, Luís Henrique. *Developing an approach to help companies synchronise manufacturing*. Tese de doutorado, Department of Management Science University of Lancaster, UK, 1994.
- SIMON, Herbert A. (1965). *Comportamento Administrativo: estudo dos processos decisórios nas organizações administrativas*. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas.
- SCHUNK, Daniel, PLOTT, Beth. Using simulation to analyze supply chains. *In Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, eds. J.A. Joines, R.R. Barton, K. Kang e P.A. Fishwick, 1095-1100. IEEE, Piscataway, New Jersey.
- 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. IEEE, Piscataway, New Jersey.
- WILLIAMS, Edward J., GEVAERT, Andrew. Pallet optimization and throughput estimation via simulation. *In Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*, eds. S. Andradóttir, K.J. Hearly, D.H. Withers e B. L. Nelson, 744-747. IEEE, Piscataway, New Jersey.
- WILLIAMS, Edward J., SADAKANE, Shigeru. Simulation of a paint shop power and free line. *In Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*, eds. S. Andradóttir, K.J. Hearly, D.H. Withers e B. L. Nelson, 727-732. IEEE, Piscataway, New Jersey.
- WANKE, Peter, *et al.* Simulação como Ferramenta para Análise de Nível de Serviço e Capacidade de Atendimento em um Posto de Gás Natural. *Publicação do Centro de Estudos em Logística*, Rio de Janeiro, 1996. www.coppead.ufrj.br/pesquisa/cel/new/fs-public.htm
- YIN, R. K. *The case study crisis: some answers*. *Administrative Science Quarterly*. Cornell University. V. 26, março de 1981.