

Capítulo 3: Revisão Bibliográfica

Este capítulo enfoca os conceitos teóricos mais importantes utilizados no estudo aqui relatado. Serão abordados alguns temas característicos da logística, assim como alguns temas característicos da simulação de sistemas, já que esta dissertação apresenta um problema de logística estudado por meio da técnica de simulação.

Até este ponto desta dissertação, os clientes das distribuidoras foram considerados em conjunto. Assim, postos, grandes consumidores e TRR foram denominados genericamente *clientes*, já que as diferenças entre eles não eram relevantes para as análises apresentadas anteriormente. No entanto, vale ressaltar que, conceitualmente, os postos representam um canal de distribuição distinto dos demais clientes:

“Em muitos casos, o agrupamento dos clientes em classes homogêneas já está definido pelas práticas do mercado. Por exemplo, a venda de produtos de petróleo é canalizada aos consumidores finais, pessoas físicas, através dos postos de gasolina. Mas há outros consumidores importantes, constituídos por indústrias, empresas transportadoras, órgãos do governo etc. que são abastecidos diretamente pelas distribuidoras, formando outro canal de distribuição.” (Novaes, 2001, pág. 123).

A partir deste ponto, o estudo aqui apresentado estará levando em consideração preferencialmente os postos e suas características, pois estes são os clientes mais significativos dentro do âmbito deste trabalho. A importância dos postos para o objetivo deste estudo advém do fato de que eles demandam cargas menores em relação aos demais tipos de clientes, e, portanto, são os maiores usuários dos CT compartimentados. Além disso, a quantidade de postos é muito maior do que a de qualquer outro tipo de cliente. Neste sentido, pode-se citar que em 2002 existiam no Brasil 29.804 postos e apenas 561 TRR (ANP, op. cit.). A utilização dos postos como referência principal não significa, porém, que os demais clientes serão desconsiderados, ou que sua existência restringe o alcance deste estudo. Os postos, por sua relevância já citada, serão o cliente principal, a partir do qual serão desenvolvidas as análises e relatados os passos do trabalho, ficando os demais clientes implícitos. A influência destes últimos, quando for significativa, será citada explicitamente.

Seguindo a conceituação apresentada por Novaes (2001, pág. 107) verifica-se que a distribuição de combustíveis automotivos segue um modelo logístico bastante tradicional. O canal de distribuição é vertical e a cadeia de suprimentos é segmentada. Verifica-se uma grande similaridade entre as distribuidoras de combustíveis e os atacadistas presentes em outros mercados:

“... os fabricantes vendem seus produtos a atacadistas ... Quando há atacadistas atuando no canal de comercialização, estes vendem os produtos aos varejistas” (Novaes, op. cit., pág. 1).

A Fig. 5 apresenta uma comparação entre o canal de distribuição e a distribuição física, conforme ilustrado em Novaes (op. cit., pág. 109), e seus correspondentes na atividade em questão.

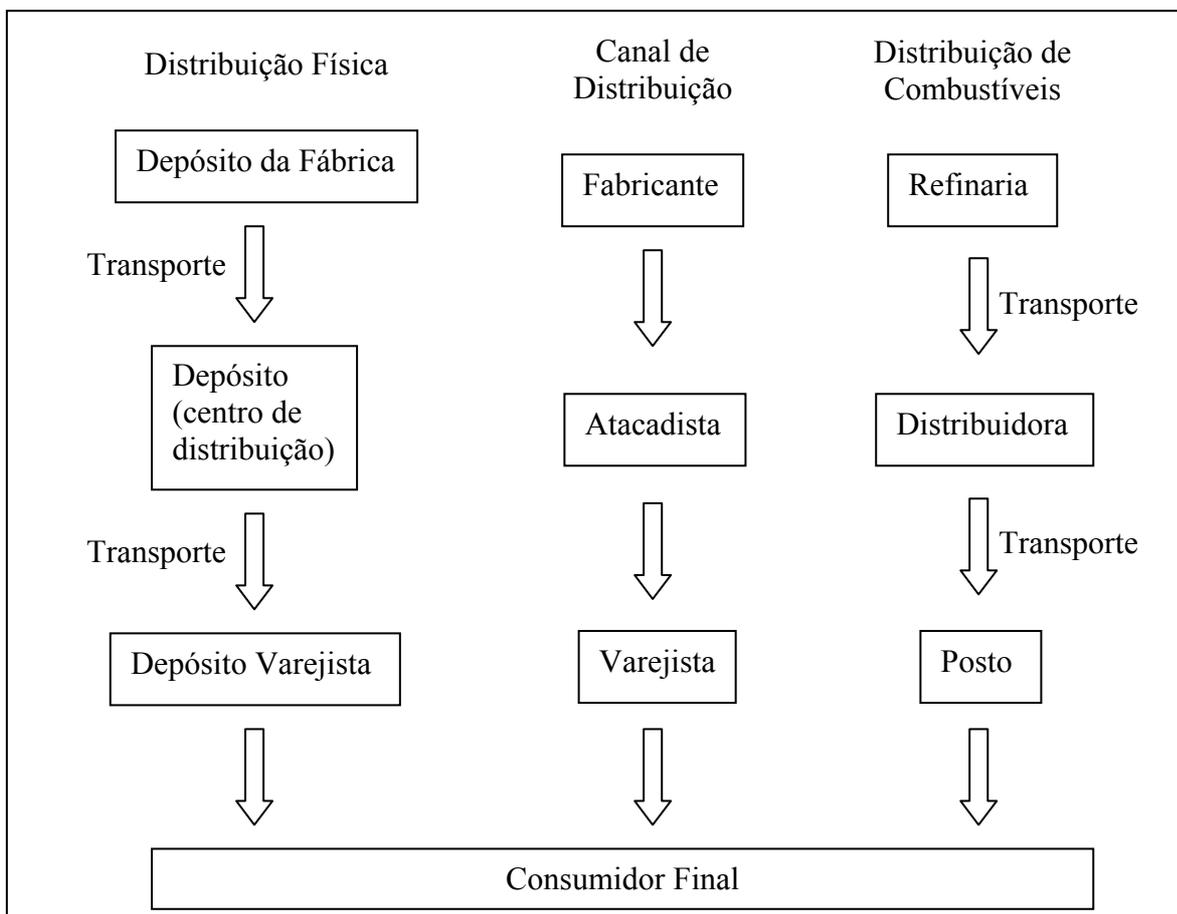


Fig. 5 – Paralelismo entre canais de distribuição e distribuição física.

A questão central deste trabalho é a compartimentação dos CT e de que forma ela impacta na operação de carregamento destes veículos nas bases. Para o

estudo desta questão, optou-se pela utilização de técnicas de simulação, já que estas, como se verá adiante, são adequadas às características do problema. As bases teóricas relacionadas à simulação de sistemas serão apresentadas nas três últimas seções deste capítulo: *sistemas, modelos e simulação*.

A questão de fundo é a diferença de pontos de vista das empresas envolvidas, no que se refere ao volume ideal de entrega de produtos. Para a distribuidora, interessa levar o maior volume possível a cada entrega, pois isto significa um menor número de viagens ao posto e, conseqüentemente, menor custo de transporte. Para o posto, ao contrário, quanto menor o volume de cada entrega, menor o estoque em seu tanque, o que significa menos capital imobilizado. Para embasar a discussão deste *trade-off*, a primeira seção deste capítulo abordará a importância da questão de fundo, e as seções seguintes abordarão sucintamente os principais temas da logística a ela associados: *transportes, estoques e logística integrada*.

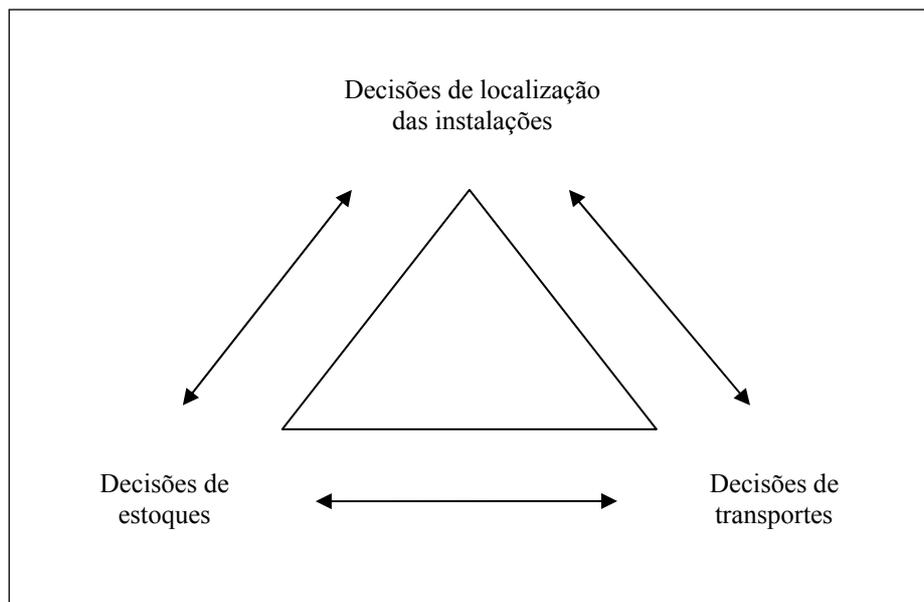
Assim, as seções iniciais deste capítulo serão dedicadas a temas afetos ao contexto no qual se insere o problema a ser estudado, enquanto que as seções finais serão dedicadas a temas afetos à questão central. Desta forma, pretende-se seguir, no texto, a mesma linha de raciocínio que levou à definição do escopo do estudo, partindo dos aspectos gerais para chegar aos específicos.

3.1 A importância da questão de fundo

Como foi citado anteriormente, a questão de fundo relacionada ao problema estudado é a diferença de pontos de vista entre a distribuidora e os postos no que se refere ao volume ideal de entrega de produtos. Esta questão é um exemplo de um *trade-off* bastante conhecido na logística, que contrapõe o custo de estoque ao custo de transporte. A análise desta questão na atividade de distribuição de combustíveis é bastante complexa, razão pela qual este trabalho optou por concentrar-se em um dos seus componentes, cujo estudo, à primeira vista, tinha potencial para permitir conclusões úteis, independentemente do estudo do todo.

A atividade de distribuição de combustíveis automotivos é fortemente baseada na logística e em seu bom planejamento. Segundo Ballou (2001, pág. 34) o planejamento logístico pode ser ilustrado por um triângulo representando as

decisões sobre estoques, transportes e localização das instalações, tendo como resultado o nível de serviço ao cliente (Fig 6). Esta visão ajuda a ilustrar a importância do tema deste trabalho, já que este tem influência em dois dos três elementos considerados fundamentais no planejamento logístico por aquele autor – transportes e estoques.



Fonte: Ballou (2001, pág.34)

Fig. 6 – O triângulo do planejamento logístico.

Quanto à localização das instalações, sua importância para a atividade de distribuição de combustíveis automotivos é inequívoca, tanto no que se refere à localização das bases quanto à dos postos. Neste trabalho, no entanto, a localização das bases e dos postos não será analisada, pois o estudo aqui apresentado não envolve a distribuição física. A localização das instalações não será alterada em nenhum cenário considerado. Assim, no âmbito deste trabalho sua influência pode ser desconsiderada.

3.2 Transportes

O transporte dos produtos das bases aos postos é feito por modal rodoviário, sendo a frota de entrega integralmente composta por CT. Assim, toda citação a transportes neste trabalho se refere a este equipamento específico.

Apenas dois fatores relacionados ao transporte são relevantes neste trabalho, e eles são bem conhecidos. O primeiro refere-se ao fato de que, em geral, quanto maior a carga transportada menor o custo por unidade de massa (Bowersox & Closs, 1996, pág. 366). Na atividade em questão, isto significa dizer que quanto maior o compartimento menor o custo por unidade de massa transportada. O segundo fator é a importância do custo do transporte, que muitas vezes representa a maior parcela individual dos custos logísticos (Bowersox & Closs, op. cit., pág. 385).

Um comentário interessante para uma visão geral do tema, é feito por Bowersox & Closs (op. cit., pág. 385) a respeito da desregulamentação dos transportes nos EUA. Segundo aquele autor, antes da desregulamentação os serviços de transporte eram padronizados e inflexíveis, havendo, portanto, pouca habilidade para desenvolver vantagens competitivas. A desregulamentação citada expandiu a oferta de serviços e relaxou restrições, permitindo que o transporte fosse efetivamente integrado na cadeia de valor. No Brasil, um dos pontos importantes da desregulamentação da indústria do petróleo foi a extinção do ressarcimento de fretes na distribuição¹, o que produziu efeitos similares aos relatados acima.

A partir dos citados comentários de Bowersox & Closs sobre os efeitos da desregulamentação dos transportes nos EUA pode-se inferir que a maior flexibilidade permitiu uma melhoria do serviço. Este é um ponto importante na motivação desta dissertação: questionar a padronização (voluntária) atual dos compartimentos dos CT, e verificar, dentro do âmbito deste trabalho, se não há alternativas melhores.

3.3 Estoque

As decisões sobre estoques são de grande importância para as empresas. A determinação do nível e da diversidade do estoque tem impacto em diversas atividades logísticas. No comércio, a ocorrência de falta de produtos pode causar a perda de vendas e a queda da satisfação do cliente; na indústria, a falta de matérias primas pode paralisar uma linha de produção ou obrigar à mudança do planejamento da produção. Assim como a falta de estoque afeta negativamente a

empresa, o excesso de estoque também cria problemas, pois aumenta os custos e reduz a rentabilidade (Bowersox & Closs, op.cit., pág.243).

Nas próximas duas seções serão apresentadas as vantagens e as desvantagens do estoque, e os custos inerentes à sua existência, com maior detalhe para o custo financeiro a ele associado.

3.3.1 Vantagens e desvantagens

O estoque tem várias finalidades, assim classificadas por Ballou (2001, pág. 202):

- a) Reduzir custos de transporte e de produção;
- b) Coordenar oferta e demanda;
- c) Auxiliar no processo de produção; e
- d) Ajudar no processo de marketing.

É interessante notar que estas funções já haviam sido mencionadas pelo mesmo autor alguns anos antes, porém com um enfoque menos sistêmico², o que mostra a evolução do conceito de logística.

O estoque pode estar presente em diversos pontos da cadeia de suprimentos. Por menor que seja, sua existência parece inevitável. Há motivos para mantê-los grandes, assim como os há para mantê-los pequenos. Segundo Krajewski & Ritzman (1996, pág. 521) os motivos para que uma empresa mantenha muito estoque são:

- a) Serviço ao cliente – O estoque pode agilizar a entrega e contribuir para o cumprimento dos prazos, além de reduzir a possibilidade de ocorrência de falta de produto (e conseqüente perda de venda) e de pedidos de compra incompletos;

¹ Conforme relatado no item 2.1.2.

² “Na verdade, estoques servem para uma série de finalidades. Ou seja, eles

- melhoram o nível de serviço;
- incentivam economias na produção;
- permitem economias de escala nas compras e no transporte;
- agem como proteção contra aumentos de preços;
- protegem a empresa de incertezas na demanda e no tempo de ressuprimento; e
- servem como segurança contra contingências.” (Ballou, 1995, págs. 204 e 205)

- b) Custo do pedido – Cada pedido envolve custos (de tempo, comunicações, papel, processamento, acompanhamento, recepção, etc.) independentes do tamanho do lote. Pedidos grandes – e, conseqüentemente, grandes estoques médios – significam menos pedidos no mesmo período de tempo;
- c) Custo de *setup* – O trabalho e o tempo gastos para mudar o *setup* de máquinas representam um custo, que pode ser acrescido de custos com limpeza, retrabalho ou perdas, conforme o caso. Assim, há pressão para solicitar grandes lotes, o que resulta em grandes estoques;
- d) Uso da mão de obra e equipamentos – Grandes lotes (que resultam em grandes estoques) significam menor freqüência de pedidos, o que, entre outras vantagens, contribui para a estabilização da produção, evitando picos e vales, comumente causadores de aumento nos custos;
- e) Custo de transporte – A manutenção de estoques grandes permitem a melhor utilização do transporte, seja por disponibilizar mais tempo para uma maior consolidação das cargas, seja por diminuir o número de entregas urgentes; e
- f) Descontos por quantidade – Caso esteja disposta a manter um grande estoque, uma empresa pode aproveitar eventuais oportunidades de comprar grandes lotes imediatamente antes de uma alta de preços, ou negociar descontos com seus fornecedores em função do tamanho dos pedidos.

Mas se há motivos para a criação do estoque, também há diversos outros para reduzi-lo ao máximo. Aos efeitos positivos associados à manutenção de grandes estoques, citados acima, contrapõem-se aspectos negativos, sempre associados à geração de custos, tais como os custos financeiros, de armazenagem, de seguros, e das perdas. Estes custos serão detalhados mais adiante.

No entanto, se por sua simples existência o estoque gera custos, sua manutenção em níveis exageradamente baixos torna a operação muito sensível às variações do suprimento ou da demanda. Encontrar o ponto de equilíbrio entre estas duas situações faz parte do *trade-off* fundamental da logística:

“A meta fundamental da logística é atingir um nível alvo de serviço ao cliente pelo menor custo total possível” (Bowersox & Closs, 1996, pág. 6).

A partir da constatação do alto custo associado à manutenção de estoques, as empresas passaram a tentar reduzi-lo. Krajewski & Ritzman (op. cit., pág. 509) citam a tendência observada entre as empresas (americanas), a partir do início da década de 60, de promoverem reestruturações visando a centralização da administração de materiais. Segundo estes autores, esta nova forma de organização era conhecida como *estrutura integrada* e o novo departamento era comumente chamado de *administração de materiais* ou, algumas vezes, *administração de logística*. Ainda segundo os mesmos autores, esta estrutura reconhecia que as diversas tarefas da administração de materiais eram parte de uma mesma atividade, mais ampla, incluindo todas as tarefas relacionadas com o fluxo de materiais, desde a aquisição dos insumos até a distribuição de produtos acabados ou serviços.

Se já no início da década de 60 havia a preocupação em reduzir estoques, a conjuntura internacional na década seguinte forneceu novos motivos de preocupação:

“Em decorrência do agravamento das restrições financeiras, com boa parte delas originadas na crise do petróleo³, as taxas de juros também subiram apreciavelmente. Esse fator influi diretamente nos custos financeiros dos estoques, seja de matéria prima, seja de produtos acabados ou semi-acabados.” (Novaes, 1989, pág. 5)

Esta preocupação permaneceria presente na década de 90:

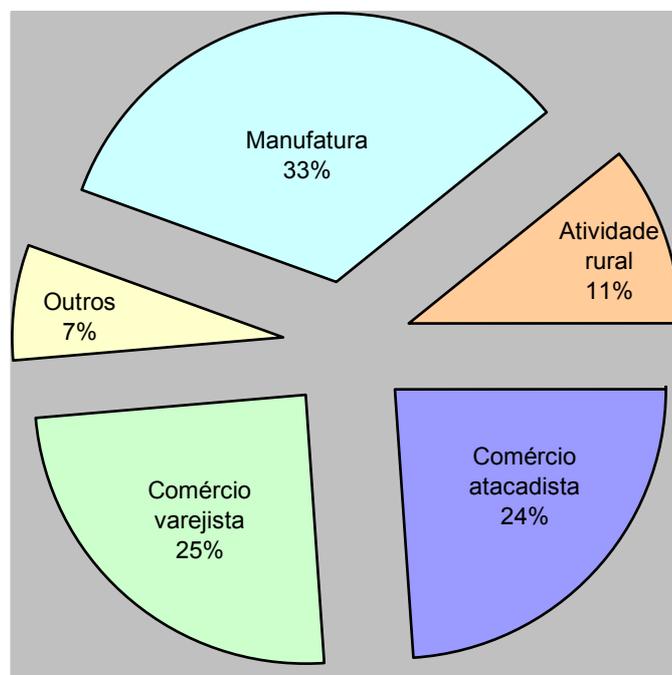
“Hoje, em função dos avanços da informática e das técnicas gerenciais, de um lado, e da preocupação com os custos financeiros, de outro, procura-se reduzir todos os tipos de estoque ao mínimo.” (Novaes, 1989, pág. 6)

“Cada vez mais, as empresas estão buscando garantir disponibilidade de produto ao cliente final, com o menor nível de estoque possível.” (Wanke, 1999, pág. 182)

Na logística atual, o estoque é uma preocupação constante. Para enfatizar este ponto, ao relatar o caso Li & Fung, Novaes (2001, pág. 66) cita as palavras do

executivo chinês Victor Fung: “*estoque é a raiz de todo o mal*”. Ballou (1995, pág. 204) já usara o mesmo recurso ao citar o presidente executivo da Revlon, Inc., Michael C. Bergerac: “*Todo erro gerencial acaba gerando estoque*”. Mesmo na moderna visão globalizada, a recomendação é de que “*os gerentes devem executar ações que reduzam a quantidade de estoque necessária, sem aumentar os custos ou comprometer a responsividade.*” (Chopra & Meindl, 2003, pág. 53)

Vale ressaltar que as empresas de distribuição e revenda de combustíveis têm mais um bom motivo para se preocupar com o assunto: atuam numa atividade em que a existência de estoques é inevitável e significativa. As Figs. 7 e 8 mostram onde estavam os estoques na economia americana em 1994 e em 2004.



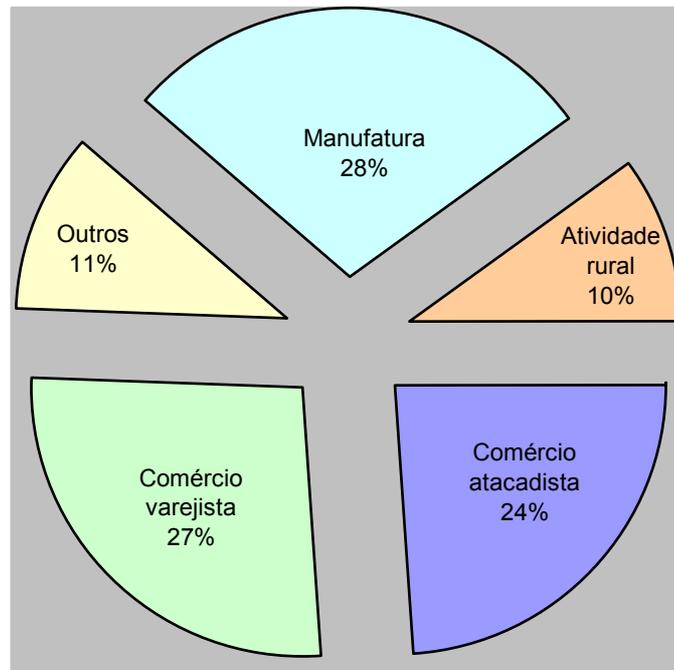
Fonte: US Government Printing Office

Fig. 7 – Localização dos estoques na economia americana em 1994

Tomando como base a Fig. 7, somando-se o percentual do ramo atacadista – no qual se incluem as distribuidoras – com o do ramo varejista – no qual se incluem os postos – nota-se que em 1994 praticamente metade do valor total dos

³ A chamada crise do petróleo deu-se em 1973. Uma segunda crise do petróleo aconteceu em 1979. Pode-se inferir do texto de Novaes que este autor estava se referindo à primeira, por seu maior impacto na economia global e seu ineditismo na história moderna.

estoques na economia americana (49%) estavam de posse de empresas destes dois ramos de atividade⁴. Aplicando-se o mesmo procedimento com base na Fig. 8, verifica-se um pequeno acréscimo neste valor em 2004, com os dois ramos de atividade somando 51%.

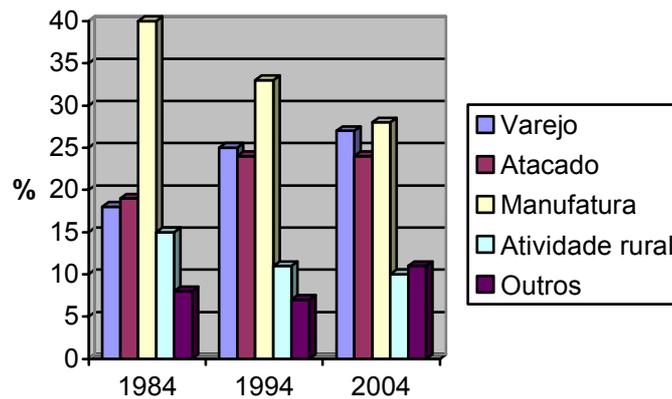


Fonte: US Government Printing Office

Fig. 8 – Localização dos estoques na economia americana em 2004

Estendendo a comparação até o ano de 1984, verifica-se a tendência de queda no valor dos estoques na manufatura e o aumento do valor dos estoques no atacado e no varejo (Fig. 9).

⁴ Krajevski & Ritzman (op. cit., pág. 509) apresentam o mesmo tipo de gráfico com dados de 1993. Buscando verificar a existência de alguma tendência, buscou-se na fonte primária o último ano disponível – 2004 – e fez-se uma análise da variação a cada dez anos.



Fonte: US Government Printing Office

Fig. 9 – Evolução dos estoques na economia americana em 1984 - 2004

Verifica-se, portanto, que a recomendação de cuidado com o nível de estoque não é nova. Na próxima seção serão detalhados os custos inerentes ao estoque, com destaque para o custo financeiro.

3.3.2 Custos do estoque

Como se viu na seção anterior, quando o assunto é gerenciamento do estoque, há consenso quanto à importância da busca por sua minimização. Isto se deve ao fato de que ao estoque estão associados diversos custos, elencados de forma praticamente idêntica⁵ por Krajewski & Ritzman (op. cit., pág. 520) e por Bowersox & Closs (op. cit., pág. 255):

- a) Financeiro (juros ou custo de oportunidade) – Para financiar o estoque, uma companhia pode obter um empréstimo ou recusar a oportunidade de realizar um investimento com um retorno atrativo. Os juros ou o custo de oportunidade, o que for maior, normalmente é o maior componente do custo de estoque.
- b) Armazenagem – O estoque ocupa espaço e precisa ser movimentado, pelo menos, quando de sua recepção e de sua expedição. O custo de armazenagem e manuseio está presente quando a empresa aluga

⁵ Outros autores incluem, além destes, o custo de vendas perdidas.

espaço, seja em acordos de curto prazo ou de longo prazo. Há também um custo de oportunidade associado à armazenagem quando a empresa poderia estar utilizando este espaço de outra forma, mais produtiva.

- c) Impostos – A posse de estoque pode estar sujeita a impostos, conforme a legislação local. O imposto é geralmente proporcional ao valor do estoque em uma determinada data ou período.
- d) Seguros – O prêmio de seguro cresce proporcionalmente ao valor segurado.
- e) Perdas – As perdas podem assumir três formas. O roubo por funcionários, clientes, ou transportadores pode ser significativo em alguns negócios. A obsolescência pode ocorrer devido ao lançamento de novos modelos do produto estocado, modificações tecnológicas, ou demanda inesperadamente baixa. A deterioração pode ocorrer por dano físico ou perda da validade.

Com relação ao custo financeiro do estoque, relacionado no primeiro item acima, os primeiros autores citam que seu valor pode chegar a 15%. Os demais autores comentam que este valor é controverso, variando desde a taxa básica de juros até 25%, e utilizam um *valor médio* de 15% para efeito de exemplo numérico.

Apesar da relevância de outros custos atrelados ao estoque (armazenagem, seguros, etc.) há uma grande preocupação em avaliar os custos financeiros, que representa o capital imobilizado, já que este custo é bem maior que os demais. Exemplificando, Bowersox & Closs (op. cit., pág. 255) apresentam uma tabela de custos médios em que o custo financeiro responde por 15% dos 19,25% totais.

Um bom exemplo do impacto do custo financeiro do estoque, na economia dos EUA é encontrado em Krajewski & Ritzman (op. cit., pág. 508):

“Materiais também são importantes por causa do investimento atrelado a eles. Em 1990, bens no valor de mais de US\$ 1 trilhão foram mantidos em estoque na economia dos Estados Unidos – 2,7 vezes a venda mensal aos consumidores nesta economia. Em outras palavras, a economia manteve em estoque o equivalente a 2,7 meses de vendas, uma redução em relação aos 3,1 meses na década de 80 e 3,6 meses na de 70.

O investimento em estoque na economia dos Estados Unidos é quase o dobro de todo o investimento (pelos setores de manufatura e serviços) em novas instalações e equipamentos, a cada ano. Cada dólar imobilizado em estoque é um dólar indisponível para investimento em novos produtos ou serviços, avanço tecnológico, ou aumento de capacidade.”

O mesmo raciocínio, aplicado a visão empresarial, encontra reflexos no retorno esperado pelos acionistas:

“O estoque se destaca como sendo um item alvo para redução de custos, não apenas pela sua relevância dentro do custo total frente à margem das empresas, mas principalmente, pelo valor imobilizado nesta conta do ativo o que afeta diretamente o retorno sobre o capital dos acionistas.” (Lima, 2003)

Convém lembrar que a discussão sobre estoques não tem relação direta com o problema estudado neste trabalho, porém é de fundamental importância no cenário no qual ele se insere, conforme foi relatado no item 3.1.

O entendimento da importância do custo financeiro do estoque e sua conceituação como custo de oportunidade, como apresentado neste item, é importante na aplicação da teoria ao relacionamento entre a distribuidora e os postos. Esta conceituação explica a possibilidade de existirem quantificações diferentes deste custo na visão de diferentes empresas (no presente caso, entre a distribuidora e o posto). Além disso, a quantificação do custo de oportunidade do estoque também pode ser influenciada pela posição da empresa na cadeia de suprimentos. Um aprofundamento destas questões foge ao objetivo deste trabalho, mas ao leitor interessado em uma análise sucinta do assunto recomenda-se o artigo de Lima (op. cit.).

3.4 Análise integrada

A logística empresarial vem se modificando nas últimas décadas. Ballou (1995, págs. 27 a 36) descreve a evolução da logística empresarial dividindo-a nas seguintes fases:

- Antes de 1950: estado de dormência;
- 1950 a 1970: período de desenvolvimento;
- Após 1970: os anos de crescimento.

Na visão daquele autor (naquela época), a evolução levou à logística integrada, que engloba atividades do suprimento, da produção e da distribuição física. O mesmo autor posteriormente afirmaria: “O gerenciamento da logística empresarial é também popularmente chamado de *gerenciamento da cadeia de suprimentos*” (Ballou, 2001, pág. 22). Esta última expressão, atualmente conhecida mundialmente por sua sigla em inglês – SCM (*supply chain management*) – vem de encontro à tendência de incorporar mais atividades, a montante e a jusante da cadeia, ao escopo da logística, buscando uma visão mais global na gestão destas atividades. Evitando a mistura dos conceitos de logística e de SCM, o Council of Logistics Management – CLM⁶ – alterou sua definição da palavra *logística*, em 1998, para:

Logística é a parte da SCM que cuida do planejamento, implementação e controle do fluxo e armazenamento eficientes e efetivos de mercadorias, serviços e informações relacionadas do ponto de origem para o ponto de consumo com o objetivo de atender às necessidades do cliente.

Considerando o cenário – ou a questão de fundo, conforme denominado anteriormente – no qual se insere o problema estudado, o que se quer ressaltar nesta seção é a existência de ganhos potenciais ao se analisar a cadeia de suprimentos de uma forma mais abrangente.

Em 1996, Krajewski & Ritzman já analisavam os benefícios em potencial na relação com os fornecedores, relatando as diferentes orientações existentes entre os compradores: a competitiva e a cooperativa. A empresa com orientação cooperativa busca parcerias, o que significa estabelecer compromissos de longo prazo, trabalhar em conjunto na busca pela qualidade, e apoiar-se mutuamente sempre que possível. A empresa com orientação competitiva busca agressivamente o menor preço para suas compras, preferindo as vantagens de curto prazo, e encara as negociações como disputas em que o que um lado perde, o outro ganha. Seus fornecedores, por outro lado, pressionarão constantemente os preços para cima e, nesta disputa, vencerá quem estiver numa posição mais forte. A Tabela 1 apresenta as condições relacionadas por aqueles autores para que o fornecedor esteja na posição forte, comparadas com a situação do mercado de

⁶ O CLM é uma organização dedicada à divulgação e estudo da logística, respeitada mundialmente como o mais importante fórum dos profissionais do setor.

distribuição de combustíveis até meados da década de 90 (antes, portanto, da desregulamentação da distribuição) revelando uma situação claramente favorável às distribuidoras.

Tabela 1 – Comparação das condições de forte poder de negociação com a situação do mercado de distribuição em meados da década de 90.

O fornecedor tem mais poder de negociação que o comprador quando...	
1. o comprador representa apenas uma pequena parcela de suas vendas	Salvo raras exceções, tais como algumas grandes redes de postos, nenhum posto representava uma parcela significativa das vendas de uma distribuidora.
2. o item a ser comprado é personalizado, e não há substitutos prontamente disponíveis	Os combustíveis não eram diferentes, já que o único produtor era a Petrobrás e os preços eram controlados. As distribuidoras tentavam se diferenciar pelo serviço e pelas promoções.
3. o comprador não tem volume suficiente para integrar a montante	Além dos postos terem pequeno volume, na época não havia as condições favoráveis à entrada de novas distribuidoras no mercado.
4. o fornecedor tem o volume e o know-how para integrar a jusante	Com certeza todas as distribuidoras tinham condições de administrar postos, porém isto não era permitido pela regulamentação do setor (esta restrição permanece até hoje).
5. mudar de fornecedor é dispendioso	A prática do mercado era a assinatura de contratos de exclusividade e de longo prazo, o que não deixava opção de fornecedor aos postos.

Fontes: Krajewski & Ritzman (op. cit., pág. 513) e Parisotto (2004, pág. 4)

Em seu livro de 1996, Bowersox & Closs (op.cit., pág.88) dedicou todo um capítulo aos relacionamentos na cadeia de suprimentos. A vantagem das associações e cooperações já estava clara, embora na época ainda pouco sistematizada.

Ballou (2001, pág.485) apresenta uma reflexão sobre a vantagem de se analisar a cadeia de suprimentos como um todo, denominando-o “*gerenciamento interorganizacional*”, chegando a afirmar que “*se os processos organizacionais eficazes podem ser desenvolvidos para tratar de questões logísticas externas à empresa, ela ganhará mais com isso do que de qualquer outra maneira possível*”.

A evolução recente da logística é relatada por Novaes (2001, pág. 41) utilizando uma classificação de fases diferente da que consta na descrição de Ballou citada anteriormente, mas a vantagem da atuação conjunta das empresas também é enfatizada:

“... agora, os agentes participantes atuam em uníssono e de forma estratégica, buscando os melhores resultados possíveis em termos de redução de custos, de desperdícios e de agregação de valor para o consumidor final”. (Novaes, 2001, págs. 49 e 50).

Novaes (2001, pág. 184) utiliza o conceito de cadeia de valor desenvolvido por Porter (1989) para descrever os *elos* que interligam as atividades de valor, *elos* estes que refletem as relações dentro de uma empresa ou fora dela. Este autor, após relatar um exemplo de colaboração entre empresas, conclui que *“um esquema diferente da divisão do bolo é possível”* e que *“todos inegavelmente ganharão”* caso as empresas se esforcem no sentido de *“trabalhar sobre a cadeia de valor de forma sistemática e contínua, visando a melhoria da competitividade de toda a cadeia de suprimentos no mercado”*.

A evolução da gestão isolada para uma gestão sistêmica das atividades logísticas foi relatada por Figueiredo & Arkader (1998, pág. 49) de forma bastante clara:

“... a coordenação da gestão de materiais, da produção e da distribuição passou a dar respostas mais eficazes aos objetivos de excelência que os negócios exigiam. Surgiu, então, o conceito de Logística Integrada. Isso significou considerar como elementos ou componentes de um sistema todas as atividades de movimentação e armazenagem que facilitam o fluxo de produtos desde o ponto de aquisição dos materiais até o ponto de consumo final, assim como os fluxos de informações que controlam e comandam os produtos em movimentos.

O conceito de Supply Chain Management surgiu como uma evolução natural do conceito de Logística Integrada. Enquanto a Logística Integrada representa uma integração interna de atividades, o Supply Chain Management representa sua integração externa, incluindo uma série de processos de negócios que interligam os fornecedores aos consumidores finais.”

O conceito de SCM surge e se difunde num mundo em transformação, na virada do milênio⁷. A competição num ambiente globalizado leva as empresas a

⁷ “Cada vez mais, a gestão dos múltiplos relacionamentos ao longo da cadeia de suprimentos está sendo denominada gerenciamento da cadeia de suprimentos (SCM). A rigor, a cadeia de

buscar a redução de estoques, a melhoria da qualidade do serviço logístico, a redução de custos e a redução do prazo do ciclo do pedido, e uma ferramenta importante nesta busca vem sendo a tecnologia da informação (Novaes, 2001, pág. 50). Há autores que consideram que este quadro marca o início de uma nova era:

“Uma das mudanças de paradigma mais significativas da moderna administração de empresas é que negócios individuais não competem mais como unidades autônomas, mas sim como cadeias de suprimentos. A administração de empresas entrou na era da competição inter-redes. Em vez de marca contra marca, loja contra loja, agora é fornecedor-marca-loja contra fornecedor-marca-loja, ou cadeia de suprimentos contra cadeia de suprimentos.” (Lambert & Cooper, 2000, pág. 65)

É no sentido dessa evolução em direção a uma visão mais ampla dos negócios que se propôs o título desta seção: análise integrada. No cenário que compõe o pano de fundo do problema aqui estudado, esta análise integrada significa deixar de considerar cada empresa individualmente para tentar buscar melhorias na cadeia que possam ser repartidas entre os seus membros.

As contribuições dos autores pesquisados apresentadas até este ponto deixam clara a tendência atual de se analisar os problemas logísticos de uma forma ampla e o potencial de benefícios que esta forma de análise apresenta. Fica, também, fundamentada a importância da questão de fundo que constitui o cenário no qual se inclui o problema aqui estudado. Cabe ressaltar que esta fundamentação também comprova a propriedade de uma das motivações deste trabalho: constituir-se em base para futuros estudos que analisem outros aspectos dos *trade-offs* presentes na atividade de distribuição de combustíveis automotivos visando a maior eficiência desta cadeia de suprimentos.

Esta seção encerra a revisão bibliográfica relacionada com os aspectos mais gerais deste trabalho, associados ao estudo da logística. A próxima seção inicia a revisão bibliográfica referente à simulação de sistemas, que foi a técnica específica adotada para o estudo do problema.

suprimentos não é uma cadeia de negócios com relacionamentos um a um, negócio a negócio, mas uma rede de negócios e relacionamentos múltiplos.” (Lambert & Cooper, 2000, pág. 65)

3.5 Sistemas

Nesta seção serão apresentados alguns conceitos básicos sobre os sistemas e suas classificações. Também serão definidos alguns termos associados ao estudo dos sistemas, de forma a estabelecer seu significado no âmbito deste trabalho. Nas seções seguintes serão apresentados os conceitos mais relevantes, dentro do contexto desta dissertação, referentes a modelos e à técnica de simulação.

Um sistema pode ser definido de uma forma extremamente simples como “*um conjunto de entidades relacionadas entre si*” (Rubinstein & Melamed, 1998, pág. 5) ou, de uma forma mais elaborada, como “*uma coleção de itens, entre os quais se possa encontrar ou definir alguma relação, que são objeto de estudo ou interesse*” (Soares, 1992, pág. 2). Como já constatou Gordon (1969, pág. 1), “*o termo sistema é utilizado em tão ampla variedade de formas que é difícil estabelecer uma definição ampla o suficiente para abarcar seus muitos usos e, ao mesmo tempo, concisa o suficiente para servir a um fim prático*”. Percebe-se, portanto, que mais importante que buscar uma definição absoluta do termo é estabelecer uma definição clara para o objetivo a que se propõe. Nesta dissertação, a definição de Gordon (op.cit., pág. 1) estará sendo considerada:

“Um sistema é definido como um conjunto ou montagem de objetos ligados por alguma interação ou interdependência.”

Note-se que o conceito de sistema é algo bastante relativo. Uma coleção de objetos pode ser, por exemplo, parte de um sistema maior considerado o foco de interesse e, assim, constituir um subsistema ou, caso seja ela própria o foco de interesse, constituir-se no sistema a ser estudado. Desta forma, estabelecer os limites do sistema implica em decidir que objetos farão parte do mesmo e quais não farão. A possibilidade de existência de objetos que não farão parte do sistema, porém estão relacionados a objetos integrantes do mesmo, implica em definir as influências externas ao sistema (Soares, op. cit., pág. 2):

- a) A definição do sistema pode ser estendida de forma a englobar os fatores externos;
- b) Os fatores externos podem ser simplesmente ignorados; ou
- c) Os fatores externos podem ser tratados como entradas do sistema.

Neste ponto convém formalizar uma primeira classificação dos sistemas: um sistema que não sofre influência externa é dito um *sistema fechado* e, por contraste, um sistema que sofre alguma influência externa é denominado um *sistema aberto* (Gordon, op.cit., pág.3).

Uma outra classificação, esta relacionada ao tempo, divide os sistemas em *dinâmicos* e *estáticos*. Como o nome já diz, os primeiros apresentam mudanças com o passar do tempo, enquanto que os segundos, não. A denominação *estático* significa que o sistema está em estado de equilíbrio, não devendo ser confundida com parado.

A próxima classificação que deve ser estabelecida está relacionada ao modo como se desenvolvem as atividades no sistema. Quando o resultado de uma atividade é definido exclusivamente por seus dados de entrada, esta atividade é dita *determinística*. Por outro lado, se o seu resultado varia aleatoriamente, a atividade é dita *estocástica* (Gordon, op.cit., pág.4). O mesmo pode ser estendido aos sistemas. Quando um sistema possui um ou mais elementos aos quais está associada alguma incerteza, ele evolui no tempo de modo imprevisível, e é denominado um *sistema estocástico* (Soares, op. cit., pág. 95).

Outra classificação importante no estudo dos sistemas descreve a forma como eles evoluem no tempo. Sistemas em que as mudanças são predominantemente suaves são chamados *sistemas contínuos*, enquanto que sistemas em que estas mudanças são predominantemente descontínuas são denominados *sistemas discretos* (Gordon, op.cit., pág. 4). O mesmo autor reforça a explicação anterior esclarecendo que geralmente a descrição de um sistema contínuo se dará na forma de equações contínuas descrevendo como os atributos do sistema variam com o tempo, enquanto que a descrição de um sistema discreto preocupa-se com os eventos que produzem mudanças no estado do sistema.

Na seqüência desta breve referência aos sistemas é importante definir alguns termos que serão muito utilizados em todo este trabalho. Para tanto serão utilizadas novamente as definições apresentadas por Gordon (op. cit., pág. 2):

“O termo entidade será usado para denotar um objeto de interesse em um sistema; o termo atributo denota uma propriedade de uma entidade. É possível, naturalmente, existirem vários atributos de uma determinada entidade. Qualquer processo que causar mudanças no sistema será chamado atividade. O termo estado do sistema será usado

para significar uma descrição de todas as entidades, atributos e atividades da forma que se encontram em um momento no tempo.”

No estudo dos sistemas, muitas vezes não é possível utilizar o sistema real para a realização de experiências. Além disso, quando se trata do projeto de um sistema, comumente há o interesse de prever o seu comportamento futuro, antes de sua construção. Um método possível é a utilização de protótipos do sistema, mas esta alternativa pode ser muito cara ou demorada, e não se aplica a qualquer sistema. Assim, o estudo de sistemas é geralmente feito por meio de modelos, que serão brevemente apresentados na próxima seção.

3.6 Modelos

A construção de um modelo é o primeiro passo no estudo de um sistema. Um modelo é uma descrição do sistema que permitirá analisar o seu funcionamento e fazer previsões sobre o seu comportamento. Em outras palavras, é por intermédio do modelo que se pretende entender o sistema. O uso de modelos na ciência está amplamente difundido e sua importância está bem descrita por Rosenbluth & Wiener (1945, citado por Rubinstein & Melamed, op. cit., pág. 6):

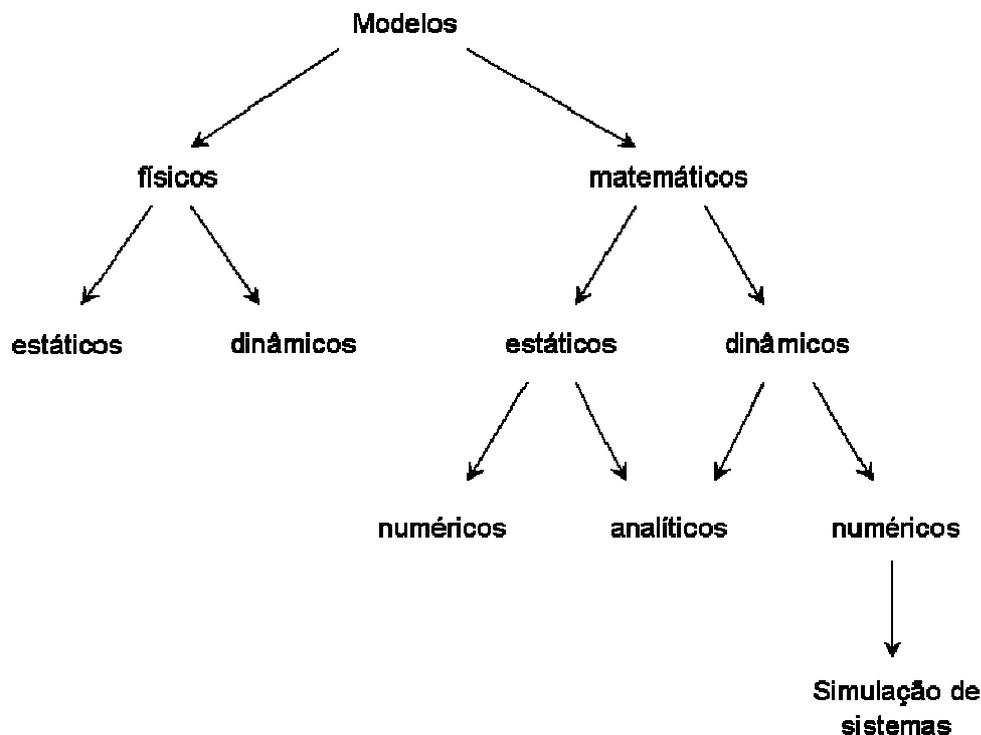
“Nenhuma parte substancial do universo é tão simples que possa ser compreendida ou controlada sem abstração. Abstração consiste em substituir a parte do universo sob estudo por um modelo de estrutura similar, porém mais simples. Modelos ... são, portanto, uma necessidade fundamental do procedimento científico.”

Segundo Soares (op. cit., pág. 3), levando-se em consideração que o modelo é uma abstração do sistema, uma das tarefas mais difíceis durante sua criação é a decisão sobre quais elementos do sistema devem ser incluídos, decisão esta que exige a definição prévia do objetivo do modelo em questão. Assim, se a definição do sistema em si já exige sua circunscrição apenas aos elementos relevantes, a construção do modelo a ele associado representa um segundo filtro da realidade. A qualidade do modelo estaria, portanto, diretamente relacionada com a habilidade do modelador na definição dos elementos realmente importantes e no estabelecimento das relações entre eles.

Conforme relatam Rubinstein & Melamed (op. cit., pág. 6), um modelo deve se equilibrar entre dois atributos conflitantes: realismo e simplicidade. Por

um lado, deve ser uma aproximação razoável do sistema real e incorporar seus aspectos mais importantes. Por outro lado, não deve ser demasiadamente complexo a ponto de impedir sua compreensão e manuseio. Estes autores alertam que aumentar o detalhamento do modelo não garante uma melhor captura da realidade, mas tende a aumentar o grau de dificuldade de sua solução. Além disso, muitas vezes não há necessidade do modelo capturar todas as características do sistema, bastando apenas que haja uma forte correlação entre as suas previsões e o desempenho do sistema real. Considerando que o objetivo do estudo determina as informações que serão consideradas, não há um modelo único associado a um sistema.

Os modelos podem ser classificados de diversas formas, e muitos autores os classificam conforme a natureza do sistema que eles representam. Considerando que a classificação dos sistemas conforme sua natureza foi relatada na seção anterior, será apresentada aqui a classificação dos modelos conforme suas características intrínsecas, conforme ilustra a Fig. 10.



Fonte: Gordon, 1969, pág. 7.

Fig. 10 – Tipos de modelos

Na classificação apresentada na Fig. 10, o primeiro nível de divisão é entre os modelos *físicos* e os *matemáticos*. Os modelos físicos mais conhecidos são os modelos em escala, como os utilizados em túnel de vento ou tanques de água. Neste tipo de modelo a correlação com os sistemas reais é feita por meio de leis de similaridade, já bastante conhecidas. Outros exemplos de modelos físicos são os modelos de estruturas moleculares feitos com esferas ligadas por hastes e os circuitos elétricos LRC⁸. Os primeiros buscam assemelhar-se ao sistema real na aparência, os segundos, no funcionamento. Num modelo matemático, variáveis matemáticas representam as entidades e seus atributos, e as atividades são descritas por funções matemáticas que relacionam estas variáveis entre si (Gordon, op.cit., págs. 8 a 10).

O segundo nível de divisão apresentado na Fig. 10 divide os modelos de acordo com a sua capacidade de representar as mudanças de estado do sistema com o passar do tempo. A exemplo da classificação análoga utilizada para os sistemas, os modelos *dinâmicos* acompanham as mudanças ao longo do tempo, enquanto que os modelos *estáticos* representam sistemas apenas quando estão em estado de equilíbrio.

O terceiro nível de divisão apresentado na Fig. 10, aplicável apenas aos modelos matemáticos, divide os modelos de acordo com o seu método de solução. Nos modelos *analíticos*, a solução pode ser encontrada diretamente a partir de sua representação matemática por meio de fórmulas. Nos modelos *numéricos* a solução é em geral uma aproximação, obtida por métodos adequados. Modelos matemáticos dinâmicos que podem ser resolvidos analiticamente não são comuns. Normalmente, estes modelos requerem a aplicação de métodos numéricos para sua solução e, como indica a Fig. 10, a simulação de sistemas é um destes métodos (Gordon, op. cit., pág. 12).

3.7 Simulação

Muitos sistemas contêm processos em que a demanda pode causar congestionamentos, ou seja, em que a demanda supera a capacidade de

⁸ Circuitos elétricos muito conhecidos no ensino de eletricidade básica, que, além de uma fonte de tensão, são compostos por uma indutância L, uma resistência R e uma capacitância C, sendo por isso chamados genericamente *circuitos LRC*.

atendimento em um ou vários períodos de tempo. Este fato deriva da impossibilidade econômica de disponibilizar recursos para estes processos em quantidade tal que o congestionamento jamais ocorra. Assim, seria impensável uma agência bancária dispor de uma caixa para cada correntista, uma rua ter tantas faixas de rolamento quantos fossem os veículos que pudessem utilizá-la, ou ainda, uma empresa dispor, em seu escritório, de um banheiro para cada funcionário.

A limitação de recursos leva inevitavelmente à necessidade de compartilhá-los, o que torna possível acontecer que no momento em que uma entidade “queira” fazer uso de um determinado recurso, este esteja ocupado. A eventual necessidade de a entidade esperar pela liberação do recurso provoca o aparecimento de fila. A busca pelo entendimento deste fenômeno e por técnicas de solução dos problemas associados às filas levou à sistematização da *teoria das filas*, uma abordagem matemática analítica da qual o matemático dinamarquês A. K. Erlang (1878-1929) é considerado o pai (Prado, 2004, pág. 20).

A modelagem de filas busca a otimização dos sistemas:

“O motivo mais comum da aplicação dos modelos e técnicas da teoria das filas é facilitar a identificação de uma adequada, mas não excessivamente liberal, instalação de serviço⁹. Se a disponibilidade de serviço for muito generosa a instalação de serviço estará freqüentemente ociosa e incorrerá em custos desnecessários – funcionários ociosos, por exemplo. Por outro lado, quando há excessivo tempo de espera porque a instalação é inadequada, pode ocorrer insatisfação do cliente e seguir-se a perda significativa de boa vontade. Clientes podem não entrar em um fila que é demasiado grande e até desconsiderar o uso de tal instalação posteriormente. O objetivo destas técnicas é estabelecer o equilíbrio econômico entre o custo do serviço e o custo associado com uma possível perda de boa vontade” (Proctor, 1994, pág. 51)

A aplicação da teoria das filas teve grande desenvolvimento após a Segunda Guerra Mundial, mas, apesar de seu sucesso, a técnica não podia resolver

⁹ Tradução literal de *service facility*. A tradução literal deste trecho objetivou manter a maior fidelidade possível ao sentido original. Em português é mais comum utilizar *centro de serviços* ou *servidor*:

*“Uma rede de filas básica consiste de entidades chamadas **centros de serviços** e um conjunto de entidades chamadas **usuários**, que recebem serviços nos centros.*

*Um centro de serviço consiste em um ou mais **servidores**, correspondentes a recursos no sistema modelado, e uma área de espera (uma **fila**) para usuários que estão requisitando o serviço. Alguns analistas chamam os centros de serviços de servidores ou filas.”* (Soares, op.cit., pág. 26)

adequadamente problemas de alta complexidade matemática. A partir da década de 50 a modelagem de filas foi grandemente facilitada pelo emprego do computador digital, que viabilizou a sua análise pela técnica de simulação. Linguagens específicas de simulação foram criadas a partir da década de 60, e a simulação visual se iniciou na década de 80 (Prado, op.cit., pág. 21). Atualmente, o uso largamente difundido dos microcomputadores e a grande capacidade de processamento destes facilitam a utilização dos *softwares* de simulação. Alguns destes *softwares* são dotados de interfaces amigáveis que permitem a sua utilização sem que o usuário precise se ocupar com a formulação teórica associada ao problema:

“A Teoria das Filas e a Teoria da Simulação são técnicas de planejamento que permitem a modelagem de um sistema, seja ele de produção, logística, fluxo de papéis em um escritório, de clientes em um banco, etc. Estas técnicas surgiram no início do século XX e seu uso manual teve relativo sucesso enquanto o computador não dominou totalmente estas áreas. Elas constituem a base teórica de programas de computador relacionados com simulação.” (INDG, 2005)

Apesar de haver algoritmos para solucionar problemas de filas, muitos destes problemas são mais bem enfocados por técnicas de simulação. Simulações em computador fornecem uma visão simplificada de um sistema real. A idéia por trás da simulação é achar uma solução satisfatória ou próxima da ótima. Simulação não emprega algoritmos de otimização; ela simplesmente retrata o desempenho de um sistema a partir de um conjunto de parâmetros de entrada. É comum empregar a simulação como técnica de solução de problemas quando o problema em estudo é demasiado complexo para ser tratado por técnicas de otimização. A esse respeito, um problema pode ser considerado demasiado complexo quando ele não pode ser expresso matematicamente ou quando a sua formulação é muito complicada para fins econômicos ou práticos (Proctor, op. cit., pág. 52).

A técnica de simulação de sistemas não pretende resolver as equações de um modelo analiticamente. Na construção de um modelo analítico é necessário ter em mente as restrições da técnica analítica e evitar uma grande complexidade do modelo. Para tanto, pode ser necessário o estabelecimento de muitas hipóteses simplificadoras. Um modelo para simulação pode ser construído mais livremente. A técnica de simulação não pretende isolar as relações entre quaisquer variáveis;

ela observa como todas as variáveis do modelo variam com o tempo. A relação entre as variáveis deve ser deduzida a partir destas observações. (Gordon, op.cit., págs. 17 e 18).

O rápido desenvolvimento dos computadores digitais e, mais recentemente, a massificação do uso dos microcomputadores foram decisivos para a disseminação e para a evolução da técnica de simulação. Os computadores, por sua rapidez de processamento, tornaram possível a solução simultânea de muitas equações e a utilização de rotinas de repetição sucessiva. Estas características também são determinantes na sua grande facilidade de tratar o elemento tempo. A relação entre computador, tempo e simulação está expressa em muitas definições desta técnica:

“Simulação é uma técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital.” (Prado, op. cit., pág. 24)

*“Um modelo para simulação é uma representação matemática/lógica de um sistema, que pode ser exercitada experimentalmente em um computador digital. Estes experimentos, ou **simulações**, como chamaremos, vão permitir inferências sobre o sistema..”* (Soares, op. cit., pág. 4)

“O tempo, na maioria das simulações, é a principal variável independente. As outras variáveis incluídas na simulação são funções do tempo e, portanto, são variáveis dependentes.” (Soares, op. cit., pág. 11)

“Simulação de sistemas é a técnica de resolver problemas acompanhando as mudanças ao longo do tempo de um modelo dinâmico de um sistema.” (Gordon, op. cit., pág. 17)

“Simulação é uma técnica numérica para realizar experimentos em um computador digital, que envolve certos tipos de modelos matemáticos e lógicos que descrevem o comportamento de sistemas empresariais ou econômicos (ou alguns de seus componentes) ao longo de extensos períodos de tempo real.” (Naylor et al., 1966, in Rubinstein & Melamed, op. cit., pág. 7)

A simulação encontra um vasto campo de aplicação. Segundo Rubinstein & Melamed (op. cit., pág. 8) suas aplicações típicas e principais vantagens são as seguintes:

- O sistema pode ser tão complexo que a formulação em termos de simples equações matemáticas pode ser impossível. A maioria dos sistemas econômicos cai nesta categoria. Por exemplo, com frequência é virtualmente impossível descrever a operação de uma empresa, uma

indústria ou uma economia em termos de algumas equações simples. Outra classe de problemas que leva a dificuldades similares é a dos sistemas de filas de grande escala. Simulação tem sido uma ferramenta extremamente efetiva para tratar problemas deste tipo.

- Mesmo que um modelo matemático possa ser formulado de forma a capturar o comportamento de algum sistema de interesse, pode não ser possível obter a solução para este modelo por meio de técnicas analíticas. Novamente, sistemas econômicos e sistemas de filas complexas exemplificam este tipo de dificuldade.
- Simulação pode ser usada como um recurso pedagógico para ensinar a estudantes e a profissionais as habilidades básicas para a análise de sistemas, para a análise estatística e para a tomada de decisões. Entre as disciplinas nas quais a simulação foi usada com sucesso para este fim estão a administração de empresas, a economia, a medicina e o direito.
- O exercício formal de projetar um modelo para simulação em computador pode ser mais valioso que a própria simulação. O conhecimento obtido ao projetar o estudo de simulação serve para cristalizar o pensamento do analista e com frequência sugere mudanças no sistema que está sendo simulado. Os efeitos destas mudanças podem ser testados por meio da simulação antes de sua implementação no sistema real.
- Simulação pode fornecer valiosos *insights* sobre o problema de identificar quais variáveis são importantes e quais têm efeitos desprezíveis no sistema, e pode lançar luz sobre como estas variáveis interagem.
- Simulação pode ser usada para experimentar com novos cenários, de forma a prever o comportamento do sistema sob novas circunstâncias.
- Simulação fornece um laboratório *in vitro*, permitindo ao analista descobrir melhores controles para o sistema sob estudo.
- Simulação torna possível estudar sistemas dinâmicos em horizontes de tempo real, comprimido ou expandido.

A exemplo dos sistemas e dos modelos, as simulações podem ser classificadas segundo diversos critérios. Nas seções anteriores, foram apresentadas a classificação dos sistemas segundo sua natureza e a dos modelos segundo suas características intrínsecas. Estes critérios também podem ser aplicados de forma análoga às simulações, e não serão repetidos aqui. No entanto, devido à sua relação direta com este trabalho, convém destacar a simulação discreta e um de seus tipos, a simulação orientada a evento.

Em simulação discreta, o estado do sistema só muda nos tempos de eventos, permanecendo constante entre tempos de eventos sucessivos. A simulação transcorre avançando-se o tempo simulado de um evento a outro (Soares, op. cit., pág. 15). Na simulação discreta, o principal interesse está nos eventos. As equações são essencialmente equações lógicas e estabelecem as condições para que um evento ocorra. A simulação consiste em acompanhar as mudanças no estado do sistema que resultam da sucessão de eventos (Gordon, op. cit., pág. 18).

Soares (op.cit., pág. 16) classifica a simulação discreta em três tipos: simulação orientada a evento, simulação orientada ao exame da atividade, e simulação orientada a processo. Destes tipos, interessa aqui o primeiro:

“Na simulação orientada a evento, um sistema é modelado pela definição das mudanças que ocorrem em pontos discretos do tempo, chamados de tempo de evento. A tarefa do modelador é determinar os eventos que podem causar a mudança no estado do sistema e então desenvolver a lógica associada com cada tipo de evento. A simulação do sistema é produzida pela execução da lógica associada a cada evento, em uma seqüência ordenada no tempo.” (Soares, op. cit., pág. 208)

Segundo Gordon (op. cit., pág. 18), geralmente os estudos sobre os sistemas podem ser enquadrados em três tipos principais: análise de sistemas, projeto de sistemas ou definição de sistemas¹⁰. A análise de sistemas visa entender como funciona um sistema existente ou proposto. Constrói-se um modelo do sistema e, por meio de simulação, investiga-se o desempenho do modelo e os resultados são interpretados em relação ao comportamento do sistema. No projeto de sistemas o objetivo é produzir um sistema que atenda a certas especificações. O

¹⁰ *System postulation*, no original.

sistema proposto é modelado e seu desempenho é previsto a partir do conhecimento do comportamento do modelo. A definição de sistema é a forma de uso da simulação característica de estudos sociais, econômicos, políticos e médicos, onde o comportamento do sistema é conhecido, mas os processos que produzem tal comportamento não o são. O estudo testa hipóteses, comparando a resposta do modelo baseado nas hipóteses formuladas em relação ao comportamento conhecido.

A simulação é uma técnica experimental. Nela, observa-se como as variáveis do modelo mudam com o tempo e procura-se estabelecer as relações entre elas a partir das observações feitas. Muitas corridas, ou repetições, têm que ser feitas até que se entenda os relacionamentos existentes no sistema, portanto o uso da simulação deve ser planejado como uma série de experimentos (Gordon, op. cit., pág. 18).

As seqüências de etapas a serem seguidas para a execução de um estudo de simulação apresentaram pequena variação entre os autores pesquisados. A Tabela 2 apresenta uma comparação entre duas destas seqüências.

Tabela 2 – Comparação entre duas seqüências recomendadas para estudos de simulação.

Etapas		Descrição
Gordon	Soares	
Definição do problema	Formulação do problema	Estabelecer definição clara do problema e do objetivo do estudo. O estudo de simulação é dinâmico em si mesmo; à medida que o conhecimento do problema aumenta, a definição pode ser revisada e questões adicionais podem ser incorporadas.
Planejamento do estudo		O planejamento permite estimar o trabalho a ser feito e o tempo necessário para tal. O planejamento pode controlar o andamento do trabalho e evitar que o estudo privilegie um aspecto do problema em detrimento de outro.
Formulação de um modelo matemático	Construção do modelo	Definir os elementos que constituirão o modelo e suas características. Definir o inter-relacionamento entre eles. Nesta fase se decide quais aspectos do desempenho do sistema são relevantes para o problema a ser estudado. O modelo deve ser o mais simples possível, contudo refletindo realisticamente as características importantes (para cada estudo) do sistema real.

(O autor inclui esta etapa na anterior)	Determinação dos dados de entrada	A construção do modelo determina os requisitos dos dados de entrada. Estes dados podem ser hipotéticos ou não. A sensibilidade dos resultados em relação a mudanças nos dados de entrada pode ser avaliada pela realização de uma série de repetições da simulação, variando estes dados.
Construção de um programa para computador do modelo	Tradução do modelo	Traduzir o modelo para uma forma aceitável pelo computador. Deve-se decidir pelo uso de linguagem de propósito geral, linguagem para simulação ou <i>software</i> comercial para simulação, considerando as vantagens e desvantagens de cada opção. É provável que esta etapa e a anterior sejam executadas em paralelo.
(O autor descreve tarefas desta etapa dentro da etapa posterior)	Verificação	Determinar se o modelo atua no computador como esperado. Esta checagem pode ser manual. Há métodos estatísticos disponíveis.
Validação do modelo	Validação	Determinar se o modelo é uma representação razoável do sistema. Um teste de razoabilidade envolve a comparação da estrutura do modelo e do sistema e comparações do número de vezes que decisões fundamentais ou tarefas de subsistemas são realizadas.
Projeto das experiências	Plano de tática e estratégia	O plano estratégico consiste no desenvolvimento de um projeto experimental eficiente tanto para explicar as relações entre os resultados simulados e as variáveis controladas, quanto para a determinação dos valores destas variáveis que minimizariam ou maximizariam a resposta simulada. O plano tático consiste em determinar como cada simulação ¹¹ deve ser realizada para se obter o máximo de informações. Um fator a considerar é o custo, já que ele pode limitar o número de replicações possível.
(O autor inclui esta etapa na posterior)	Experimentação	Exercitar o modelo. Realizar as replicações planejadas conforme os planos traçados.
Execução da simulação e análise dos resultados	Análise dos resultados	Interpretar as saídas. Num estudo bem planejado, um conjunto de perguntas deve ter sido claramente colocado e a análise procura responder a estas questões.
	Implementação e documentação	Implementar os resultados e documentar o modelo e o seu uso. Nenhum projeto estará completo até que seus resultados

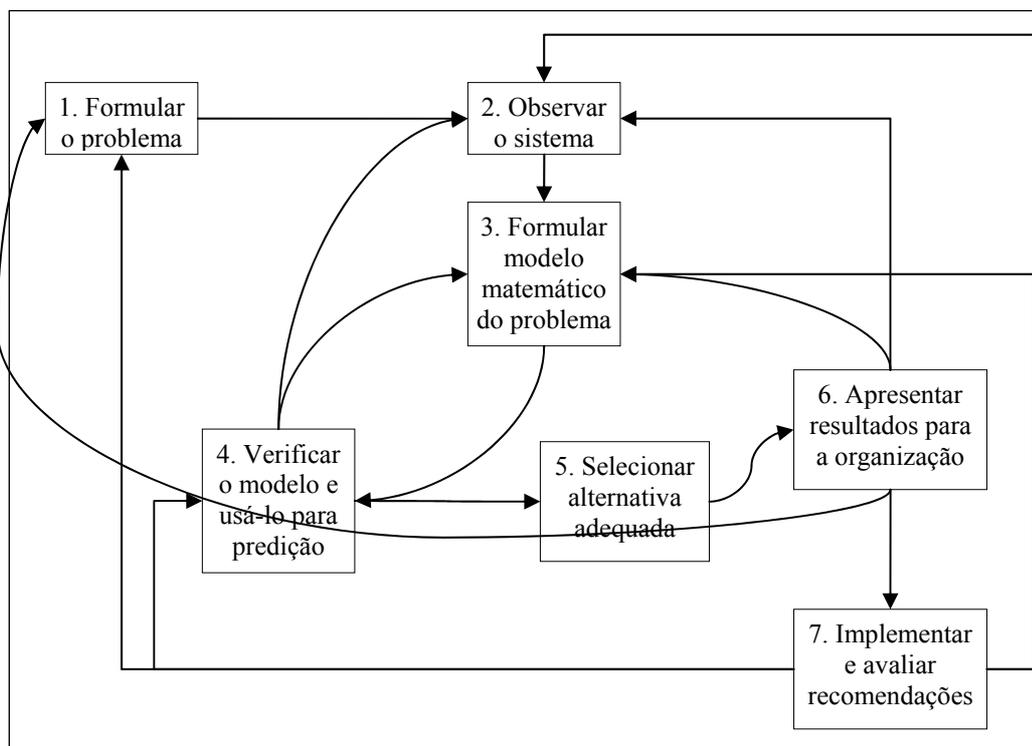
¹¹ Provavelmente o autor (Soares) quis se referir a cada *corrida* (*run* ou *replication*, em inglês). Em português, a palavra *simulação* pode ser usada tanto para o estudo como um todo como para cada corrida no computador (cujo conjunto forma o estudo), o que pode gerar alguma confusão. Neste trabalho estaremos utilizando a palavra *simulação* para designar o estudo como um todo e a palavra *replicação* para cada corrida no computador.

		sejam utilizados.
--	--	-------------------

Fontes: Gordon (op. cit., pág. 21) e Soares (op.cit., pág. 84)

Com relação à descrição das etapas constantes na Tabela 2, Soares (op. cit., pág. 86) destaca que, apesar desta descrição ter sido apresentada de forma seqüencial, num estudo real as etapas interagem entre si, exigindo diversas idas e vindas durante o desenvolvimento do estudo.

É interessante observar que a seqüência de etapas recomendada para a execução de um estudo de simulação, conforme detalhado na Tabela 2, guarda grande similaridade com a metodologia recomendada por Winston (1994, págs. 1 a 5) para a solução de problemas por meio da pesquisa operacional, ilustrada na Fig. 11. Esta figura ilustra, inclusive, a grande interação entre as etapas, inevitáveis e benéficas para ambas as metodologias propostas – para estudos de simulação e para a solução de problemas na pesquisa operacional.



Fonte: Winston, 1994, pág. 2.

Fig. 11 – Metodologia recomendada na pesquisa operacional

O uso da simulação está intimamente ligado a técnicas estatísticas:

“Assim como a probabilidade foi historicamente motivada pelo jogo (são creditadas a Cardano e Pascal as contribuições pioneiras (Feller, 1958, Vol. I, Seção II.10)), as origens da simulação parecem estar em experimentos envolvendo aleatoriedade¹² (p. ex. a experiência da agulha de Buffon e outros casos relatados em Feller (1958, Vol. II, Seção II.8).” (Rubinstein & Melamed, op. cit., pág. 2)

“A técnica de simulação consiste em tomar amostras aleatórias da distribuição de probabilidades que representa o sistema real sob estudo. Muitos fenômenos reais são “normalmente” distribuídos e assim, em muitos casos, estimativas de probabilidade usando a curva normal podem ser utilizadas freqüentemente. No caso de filas, no entanto, outros tipos de distribuição podem ser mais apropriados – por exemplo, uma distribuição uniforme ou aleatória – e deve-se estabelecer primeiro como os eventos são distribuídos na realidade.

Os dados de entrada do modelo consistem dos valores observados e das probabilidades associadas a cada evento. ... O modelo para simulação calcula a distribuição de probabilidade acumulada e a usa em conjunto com números gerados aleatoriamente para produzir (simular) o número de ocorrências esperado.” (Proctor, op. cit., pág. 52)

A natural facilidade com que a simulação trata dados estatísticos é particularmente útil para o estudo de sistemas estocásticos. Como foi visto na seção 3.5, um sistema estocástico é aquele que possui pelo menos uma variável aleatória, ou seja, um processo estocástico. Uma definição formal de processo estocástico é apresentada por Ross (1985, pág. 72):

“Um processo estocástico $\{X(t), t \in T\}$ é uma coleção de variáveis aleatórias. Isto é, para cada $t \in T$, $X(t)$ é uma variável aleatória. O índice t é freqüentemente interpretado como tempo e, como resultado, referimo-nos a $X(t)$ como o estado do processo no tempo t . Por exemplo, $X(t)$ poderia ser igual ao número de clientes que tivesse entrado num supermercado até o tempo t ; ou o número de clientes no supermercado no tempo t ; ou o valor total de vendas que foram registradas no mercado no tempo t , etc”.

O conjunto T é chamado conjunto índice do processo. Quando T é um conjunto discreto o processo estocástico é dito processo discreto.”

A maioria dos sistemas de filas e de estoques é modelada estocasticamente (Rubinstein & Melamed, op. cit., pág. 9). A simulação de sistemas estocásticos requer que a variabilidade dos elementos no sistema seja caracterizada utilizando-se conceitos probabilísticos. As saídas destes sistemas são também probabilísticas e, portanto, interpretações estatísticas são usualmente requeridas (Soares, op. cit.,

¹² No original em inglês, *chance*.

pág. 95). Neste trabalho não serão apresentados os conceitos e as técnicas estatísticas utilizados. Entende-se que o leitor está familiarizado com elas.

Esta seção encerra a revisão bibliográfica referente aos elementos teóricos mais relevantes para o estudo aqui descrito. Nas últimas três seções foram apresentados os sistemas e suas classificações, os modelos e a técnica de simulação. Na próxima seção será apresentado sucintamente o *software* utilizado neste estudo.

3.8 O *software* de simulação Arena[®]

Entre os programas de computador específicos para simulação, o Arena[®] é um dos mais utilizados no mundo atualmente. Lançado em 1993 pela empresa Systems Modeling, ele é o resultado da unificação e aperfeiçoamento de dois produtos de sucesso: o SIMAN e o CINEMA, respectivamente o primeiro *software* de simulação e o primeiro *software* de animação, ambos para microcomputadores. Em 1998 a empresa Rockwell Software incorporou a Systems Modeling, passando a ser a responsável pela distribuição e evolução do Arena[®] (Prado, op.cit, pág. 27).

O Arena[®] emprega um projeto orientado a objeto que permite o desenvolvimento de modelos de forma inteiramente gráfica. Ele foi concebido como um *software* de simulação de uso geral. Seu *template* oferece um conjunto básico de blocos – ou módulos – para a construção de modelos para qualquer tipo de aplicação. Além de dispor de elementos básicos para trabalhar com recursos, filas, lógica do sistema, e interface com arquivos externos, o Arena[®] dispõe de módulos direcionados para aspectos específicos de fabricação e manuseio de materiais (Takus & Profozich, 1997, pág. 541).

Para desenvolver um modelo no Arena[®] o usuário simplesmente escolhe um bloco, posiciona-o no modelo, e fornece as informações solicitadas pelo *software*, tais como tempo de serviço das entidades, cronograma de operação do servidor e rota das entidades. A simplicidade deste processo é possível graças à existência de uma interface gráfica para o usuário, que ajuda a automatizar o processo e permite a utilização intensiva do *mouse*, reduzindo a necessidade de uso do teclado. A animação é incluída automaticamente em vários módulos do

Arena[®], permitindo um rápido desenvolvimento simultâneo do modelo da simulação e da sua respectiva animação. O *software* permite ainda a inclusão de elementos que permitem a visualização do estado do sistema em tempo real, tais como gráficos dinâmicos, histogramas e relógios (Prado, op.cit., pág. 28, e Takus & Profozich, op. cit., pág. 541).

Durante a execução de cada corrida de simulação, o Arena[®] simula e gerencia o transcorrer do tempo, verificando, a cada instante, a possibilidade de acontecer algum evento, tal como:

- Um novo cliente chega ao sistema;
- Uma entidade inicia o deslocamento entre duas estações de trabalho;
ou
- Um servidor de uma estação de trabalho inicia (ou conclui) o atendimento a um cliente.

Nas simulações em geral, e neste trabalho em particular, os processos que compõem o sistema simulado são estocásticos. Isto quer dizer que o tempo de atendimento dos clientes em uma estação de trabalho é variável. O mesmo ocorre com a chegada de entidades ao sistema, o deslocamento entre estações de trabalho, etc. Para determinar o tempo destes processos, o Arena[®] utiliza o método de Monte Carlo, que consiste em um sorteio baseado em números aleatórios e na função de probabilidades que descreve o processo real. Esta função deve ser informada pelo programador ao *software* quando da construção do modelo.

As funções de probabilidades que descrevem os processos presentes no modelo muitas vezes não são conhecidas. Para auxiliar na sua determinação, o Arena[®] dispõe de uma ferramenta adicional: o *Input Analyzer*[®]. Esta ferramenta gera um relatório que compara os dados a ela fornecidos a um conjunto de distribuições conhecidas, indicando as que melhor se ajustam aos dados de entrada. As distribuições consideradas pelo *software* são as mais comumente utilizadas na descrição de processos estocásticos. Desta forma, pode-se partir de uma medição de tempos dos processos para, por meio do *Input Analyzer*[®], determinar as funções a serem utilizadas no modelo.

O Arena[®] permite a inserção de módulos na área de trabalho que indicam o valor das variáveis presentes no modelo. Isto permite conhecer o valor das variáveis a qualquer momento durante a execução da simulação e verificar quando ocorrem mudanças nestes valores. Este recurso pode ser usado para fazer a função de contador,

Esta seção encerra a revisão bibliográfica, na qual foram enfocados os conceitos teóricos mais importantes para o estudo aqui relatado. Foram abordados alguns temas característicos da logística, tais como transportes, estoques e análise integrada, assim como alguns temas característicos da simulação de sistemas, como sistemas, modelos, simulação e o *software* Arena[®].