

## 2

### Revisão Bibliográfica - O Problema do Dimensionamento

#### 2.1

##### Por que dimensionar

Foi citada anteriormente a necessidade de dimensionamento de ativos logísticos. Dimensionar significa planejar a capacidade<sup>8</sup>. Pode-se planejar a ampliação da capacidade existente ou decidir sobre a implantação de uma nova instalação, para a qual se deseja determinar a capacidade operacional adequada.

Cite-se como exemplo o estudo da implantação de um novo poliduto<sup>9</sup>, que se constitui em um sistema destinado a enviar produtos líquidos em grande volume, a localidades distantes, através de tubulações, por bombeamento. Na PETROBRAS, o modal dutoviário<sup>10</sup> é largamente utilizado para transporte de derivados de petróleo, tais como gasolina, diesel, gás liquefeito de petróleo, nafta petroquímica, ou os biocombustíveis, tais como álcool etílico (anidro ou hidratado) e outros produtos não derivados do petróleo.

Trata-se de um investimento de porte considerável, dada a sua extensão. O sistema compreende, além da tubulação, um parque de bombas principais, podendo possuir uma ou mais estações de bombeamento em locais intermediários, para reforço da impulsão do produto através da dutovia (recalque), ou sistemas para operar derivações, para abastecer os mercados de determinados locais intermediários (Bases). Dependendo do tipo de operação, em alguns desses locais podem também ser construídos um ou dois tanques de pequena capacidade, para acúmulo de misturas residuais de produtos, geradas dentro da própria tubulação (interfaces), ou ainda, sistemas de reaquecimento do produto, na linha dutoviária.

Uma companhia petrolífera pode decidir pela construção de um duto para abastecer certa região distante de uma refinaria, por exemplo. A extensão total da

---

<sup>8</sup> Conforme BASTOS (2006, cap 3, seção 3.6.2, pág 65).

<sup>9</sup> Os termos “poliduto” e “dutovia”, assim como suas flexões, são comumente utilizados pelos profissionais da indústria do petróleo, embora a definição de **poliduto**, sistema dutoviário que permite alternar o bombeamento de diferentes produtos em bateladas em série, não seja oficial. No ANEXO L.iii encontra-se a definição oficial de duto, segundo a ANP.

<sup>10</sup> Idem.

linha de tubulações deverá ser suficiente para alcançar não apenas essa região distante, cujo mercado se pretende abastecer, mas também as localidades principais intermediárias, ao longo do trajeto da linha, as quais também deverão ter seu mercado abastecido. A vazão de bombeamento dos produtos também deverá ser suficiente. Trata-se então de um problema de dimensionamento aplicado a um projeto de abastecimento de mercados conhecidos (ou que podem ser estimados), por meio dutoviário.

Se tal sistema for implantado sem que seja planejada (dimensionada) a sua capacidade de envio dos produtos aos respectivos mercados (os quais, em princípio, motivaram a sua implantação), dois tipos de situação adversa, de natureza oposta, poderão ocorrer: (a) capacidade insuficiente para atender à demanda ou; (b) volume movimentado muito abaixo do necessário para justificar a capacidade instalada. Em ambos os casos, desoladamente observaremos o aparecimento de fatores de geração de custos, relacionados aos novos ativos da empresa.

No primeiro caso (a), observaremos a criação de um **gargalo**<sup>11</sup> no sistema logístico agora em operação. A movimentação total prevista, por período, não poderá ser realizada. Haverá uma parcela principal de custo agregado (perda de receita), correspondente ao produto da tarifa de movimentação do duto pelo volume de movimentação não realizado. Ora, considerando que, tanto essa tarifa, quanto a movimentação prevista constituem a base de remuneração do investimento, ao longo dos anos (BALLOU, 2004, cap. 6, pág. 167; 169-170), e que normalmente fica impraticável o acréscimo da tarifa para contrabalançar a perda de receita gerada pela movimentação inferior, restará ao investidor (ou ao operador do duto) arcar com essa parcela de custos.

Há outra espécie de custo gerado por gargalo, desta vez para a cadeia logística, e que acaba sendo repassado para o consumidor final. A parcela de demanda não atendida pelo novo modal de transporte mais barato (o duto), dada a sua limitação de capacidade, continuará sendo atendida pelo modal de transporte antigo, e o preço final do produto continuará sendo onerado pela maior parcela de custo logístico. Exemplo de situação semelhante foi citado por FIGUEIREDO (2006), descrevendo como o potencial gargalo no sistema ferroviário brasileiro,

---

<sup>11</sup> Uma facilidade, instalação, função, departamento, ou recurso cuja capacidade é menor do que a necessidade da demanda. (TIGERLOG, 2007)

para o transporte de combustíveis, pode incrementar o preço final do produto ao consumidor ou gerar custo para algum membro da cadeia de suprimento (distribuidor ou revendedor).

Na situação oposta (b), a movimentação de produtos através do duto será muito menor do que a sua capacidade de envio instalada. Isso poderá ser consequência de uma demanda superestimada, ou da própria inexistência do mercado que se supunha atender, numa região considerada. Ou ainda, mesmo quando há uma estimativa correta da demanda, a falta de um dimensionamento do sistema pode levar à sua construção com excesso de capacidade.

Dependendo da magnitude da diferença entre a capacidade de envio do novo duto e o volume movimentado durante o pico de demanda, em qualquer uma das situações descritas no parágrafo anterior observaremos o desenvolvimento de custo agregado. Quando a demanda for inferior à prevista, haverá custo correspondente ao desvio da movimentação realizada, em relação àquela que foi prevista na fase de projeto. Esse custo será da mesma espécie daquele gerado por gargalo, ou seja, uma perda da receita de transporte do duto necessária para remunerar o investimento, em relação à receita planejada. Se, porém, a demanda (corretamente) prevista for realizada, então a receita proporcionada também o será, mas, neste caso, a instalação de capacidade em excesso poderá significar simplesmente a necessidade de garantir a remuneração do investimento com a geração de receita adicional, mediante aplicação de uma tarifa maior, pelo operador do duto. Segundo BALLOU (2004, cap. 6, pág. 169-170), aumentos significativos de tarifa geram perda de competitividade do transporte, o qual estará sujeito a perda correspondente de movimentação (e consequentemente de receita) para o transporte concorrente.

No exemplo abordado acima, referimo-nos à implantação de um duto, embora o problema de dimensionamento que será visto a seguir esteja relacionado a capacidades de armazenamento de terminais e bases de distribuição. O exemplo ilustrativo do duto foi propositadamente escolhido. Um projeto de implantação de duto certamente implica criação de subprojeto correspondente, para construção de unidades de armazenamento (terminais e bases de distribuição), ou adaptação daquelas existentes, tanto na localidade de destino final dos produtos, como em locais intermediários. A escolha dos locais a serem abastecidos diretamente pelo

novo duto dependerá, evidentemente, de uma correta estimativa pontual da demanda dos produtos escolhidos para envio, em cada localidade.

A falta de dimensionamento da capacidade de armazenamento de um terminal ou base de distribuição também aumenta a possibilidade de criação de gargalo na cadeia de suprimento, quando a capacidade instalada não é suficiente para armazenar todo o volume de produto que entra na unidade. Como se trata de uma unidade de armazenamento, a falta ou o esgotamento de sua capacidade de estocagem promoverá o acúmulo de estoque em algum local de armazenamento, existente a montante na cadeia de suprimento, ou obrigará à redução ou interrupção do fluxo de entrada de produto nos tanques da unidade. Ocorrências dessa espécie, não previstas no planejamento de curto prazo, acabam gerando custos que se propagam pela cadeia de suprimento (tais como sobre-estadia<sup>12</sup> de navios, por exemplo), podendo inclusive acarretar perda de produção de refinarias ou outras unidades de produção.

## 2.2

### O que dimensionar

Nesta dissertação será abordado o problema do dimensionamento da capacidade de armazenamento de uma unidade logística de armazenamento de produtos de petróleo, utilizando os resultados obtidos de modelos de simulação. Essas unidades de armazenamento serão aqui classificadas como **terminais** ou **bases de distribuição**, cujas respectivas definições oficiais estabelecidas pela ANP se encontram no ANEXO I.ii.

Os autores BARBOSA *et al.* (2006, item 1) falam da importância de se dimensionar tanto os parques de armazenamento, evitando a formação de gargalos operacionais, como também do controle de estoques, ambos componentes relevantes, de caráter estratégico em gestão operacional.

Seguindo essa linha, duas grandezas primordiais devem ser focalizadas: (a) o volume total de cada produto em estoque nos tanques da unidade de armazenamento; (b) a capacidade total de armazenamento da unidade em estudo,

---

<sup>12</sup>Sobre-estadia é um termo utilizado na indústria petrolífera, que significa excesso de tempo gasto, em relação ao que foi contratado para operações de carregamento e descarregamento de produtos. Em 2006, a parcela de custos de sobre-estadia respondeu por cerca de 4% do custo total do transporte marítimo (Relatório do Transporte Marítimo – 2006 – TRANSPETRO).

para cada produto, também denominada **tancagem**. A primeira traduz principalmente a disponibilidade do produto na unidade, para entrega aos clientes, enquanto que a segunda está diretamente relacionada à margem necessária para evitar a formação de gargalos operacionais na unidade em estudo.

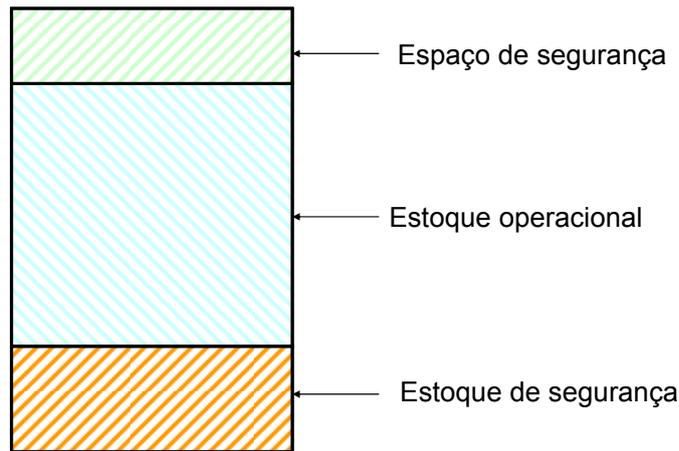
Estoque insuficiente significa maior chance de perda de vendas, e conseqüente perda da receita correspondente, durante o período de escassez do produto. Estoque em excesso gera custo correspondente de armazenamento, além do custo que traduz a existência do capital empatado correspondente no inventário em excesso (BANKS, CARSON *et* NELSON, 1984, cap.2, seção 2.2, pág.36-37).

Capacidade de armazenamento insuficiente é sinônimo de gargalo, conforme já explicado, e a existência de capacidade ociosa, por outro lado, significa um desperdício de recursos, aplicados desnecessariamente em ativos imobilizados. Comentário semelhante aparece em SALIBY (1999, item 4.2).

Segundo LIMOEIRO *et al.* (2004), o volume de cada produto em estoque possui um desdobramento, em dois componentes: **estoque operacional** e **estoque de segurança**. O primeiro se destina ao atendimento normal da demanda do produto. Já o estoque de segurança é aquele previsto para suprir eventuais flutuações significativas na sua demanda ou no **tempo de reposição**, resultantes de fatores imprevistos na cadeia de suprimento (RIACH *et al.*, 1970, pág 9-10). O estoque operacional é também denominado (mais apropriadamente) **estoque operacional de ciclo**<sup>13</sup>.

---

<sup>13</sup> Denominação proposta pelos profissionais que lidam com a gestão de estoques, com base no controle de estoques por ciclo de reposição.



Fonte: (LIMOEIRO et al., 2004) – Trabalho apresentado na Winter Simulation Conference 2004

Figura 2.2.1: Componentes operacionais da armazenagem em um tanque

De modo inverso, o **espaço de segurança** é necessário para o armazenamento de volume maior, devido a **quedas** significativas na demanda do produto. O aumento de volume armazenado pode ocorrer também devido ao aparecimento de gargalos a jusante da unidade de armazenamento, na cadeia de suprimento. Pode ainda ocorrer em face de chegadas antecipadas de produto (por navio-tanque, por exemplo) ou de bateladas maiores (por bombeamento).

Sendo assim, em cada unidade de armazenamento é necessário tanto o dimensionamento do **nível de estoques** de cada produto, para garantir a disponibilidade aos clientes dentro dos níveis de confiança desejados (FREITAS *et al.*, 2006), como também o dimensionamento da **capacidade de armazenamento** de cada produto, de modo a garantir espaço suficiente para estocagem do excesso de volume resultante de quedas na demanda ou aparecimento de gargalos, conforme explicado acima.

O dimensionamento do nível de estoques indicará a faixa em que se deverá manter o nível total de cada produto na unidade, entre o nível do estoque de segurança e o nível máximo. Supondo que o nível do estoque de segurança pode ser determinado por método analítico (BALLOU, 2004, cap. 9, pág. 290), então o processo do dimensionamento de estoques deverá indicar qual o **nível operacional**, sendo o **nível máximo total** indicado igual à soma desse nível operacional com o nível do **estoque de segurança**, conforme o esquema da Figura 2.2.1.

O próprio resultado do dimensionamento do nível total de estoque automaticamente revela qual o **valor mínimo** da capacidade de armazenamento necessária, entretanto é necessário determinar qual o **valor máximo operacional** dessa capacidade, de modo a evitar a formação de gargalo, conforme explicado anteriormente. O valor do **espaço de segurança**, conforme o esquema da Figura 2.2.1, será igual à diferença entre o **valor operacional** da capacidade e o **nível total** do estoque, determinado anteriormente. Conhecida agora a capacidade total dimensionada para a unidade em estudo, resta ainda determinar em quantos tanques essa capacidade deverá ser repartida.

Isto é, se, por exemplo, for indicada a necessidade de se construir 50 mil m<sup>3</sup> de capacidade de armazenamento de diesel em um terminal, qual será a melhor opção, construir apenas um tanque com essa capacidade ou dois, com 25 mil m<sup>3</sup> de capacidade cada um? Note-se que, para esse tipo de problema, existe teoricamente um número ilimitado de soluções ou, pelo menos em termos práticos, um número muito elevado, dentro da precisão relevante no sistema, e considerando que, na prática, a construção de um tanque só se justifica a partir de um valor mínimo de capacidade unitária.

## 2.3

### A ferramenta mais apropriada

BARBOSA *et al.* (2006) citam como uma das grandes vantagens da modelagem matemática a flexibilidade para se testar parâmetros e configurações de sistemas em projeto, prevendo comportamentos resultantes de novas políticas de estoques e o desempenho dos processos, sem a necessidade de se reproduzir na prática o experimento, ou seja, sem que seja necessário previamente investir na instalação do sistema, para que seja possível estudá-lo.

Na literatura sobre simulação, entretanto, os autores KELTON, SADOWSKI e STURROCK (2004, cap. 2, seções 2.2.1-2, pág. 22-24) explicam as limitações e riscos de se utilizar solução analítica (como por exemplo, teoria das filas) para prever o comportamento de sistemas dinâmicos ao longo do tempo, principalmente aqueles que se caracterizam por formações de gargalos ou filas. No exemplo citado, uma das razões é que os parâmetros presentes na fórmula da

teoria das filas são, essencialmente, **médias**, e não podem ser determinados com exatidão, e que, portanto, seu erro se propaga nos resultados.

Segundo BANKS, CARSON e NELSON (1996) *apud* RODRIGUES e SALIBY (1998), a técnica da simulação é indicada quando o sistema a ser estudado é complexo, e as relações entre as diversas variáveis são difíceis de ser estabelecidas ou mensuradas.

RODRIGUES e SALIBY (1998) concluem que a simulação é a ferramenta adequada para tratar de problemas de grande complexidade, como o dimensionamento das plataformas de carregamento de caminhão-tanque numa base de distribuição, com detalhamento da utilização de cada recurso, ressaltando ser possível avaliar o impacto futuro de variação dos vários fatores, antes da realização de investimentos ou mudanças no sistema real.

BARBOSA *et al.* (2006) justificam a preferência pela aplicação da simulação na modelagem dos parques de armazenamento da PETROBRAS, como ferramenta de apoio à tomada de decisões estratégicas. Devido ao grande número de variáveis operacionais, e à complexidade de suas interações, fica difícil a avaliação do impacto de ações comuns tais como retirada de tanques para manutenção, flutuações na demanda de produtos e variações nos tempos de processo, sem o apoio de um modelo matemático consistente, e a intuição pode levar a conclusões erradas. Pelo mesmo motivo, a aplicação do método analítico de determinação de estoque médio não é recomendada.

CHAN (2006) afirma que a complexidade operacional e a natureza estocástica dificultam a solução analítica, ao passo que a simulação, além de fornecer uma solução quantitativa, permite visualizar dinamicamente a operação do sistema, aumentando o grau de entendimento sobre o seu funcionamento.

SALIBY (1999) indica a técnica da simulação para sistemas dos quais não conhecemos a priori as conseqüências das relações entre seus diversos componentes, e que, portanto, dificilmente podemos traduzi-las analiticamente.

Através de um modelo de simulação é possível “testar” o funcionamento do sistema da unidade logística em estudo, sob diversos cenários, permitindo, assim, identificar os gargalos potenciais (BARBOSA *et al.*, 2006), bem como avaliar o potencial da cada uma das alternativas, através de uma análise estatística (KELTON, SADOWSKI e STURROCK, 2004, cap. 6 seções 6.4 a 6.6, p. 265-278).

No quadro sinóptico abaixo (Tabela 2.3.1) é feita uma comparação entre as técnicas existentes para quantificar e analisar as melhorias na cadeia de suprimento de forma ampla, com base em uma discussão proposta por INGALS (1998) *apud* CHAN (2006) sobre a adequação do uso das técnicas de otimização e de simulação para problemas de *supply-chain*. O autor recomenda a preferência pelo uso da simulação, devido à natureza estocástica das variáveis (existência da variância).

Tabela 2.3.1: Áreas de Competição Entre as Técnicas de Otimização e Simulação

ÁREA	HORIZONTE	ESCOPO	RECURSOS	DEMANDA	TÉCNICA INDICADA
Programação	Curto	Limitado	Fixos e conhecidos	Definida	Otimização
Planejamento Tático	Longo (meses)	Geral	Não fixados ou ainda são objeto de estudo	Estocástica	Simulação
Planejamento Estratégico	Muito longo (anos)	Geral	Não definidos	Estocástica	Otimização mais Simulação

(Extraído da tese intitulada SIMULAÇÃO APLICADA ÀS OPERAÇÕES LOGÍSTICAS DE UM PARQUE DE ARMAZENAMENTO DE GASOLINA DE UMA REFINARIA DE PETRÓLEO – CHAN, Ana, COPPE, maio/2006, cap. 3, pág. 13)

## 2.4

### O que podemos inferir

Apesar da vantagem do emprego da simulação para analisar sistemas de grande complexidade, existe uma contrapartida: os modelos de simulação por si só não fornecem de imediato uma solução analítica do problema. Longe disso, uma gama de resultados nos é apresentada por esses modelos, sendo difícil sua interpretação, por ser difícil distinguir entre a influência de alguma relação significativa no sistema e aquela devida a processos aleatórios construídos e embutidos no modelo (FREITAS FILHO, 2001, cap. 1, seção 1.5, p. 13). Tal como ocorre na observação da operação de um sistema real, deveremos anotar os valores das variáveis relevantes (mais apropriadamente chamadas **indicadores**) para uma análise do desempenho do sistema que foi configurado por meio da modelagem de simulação.

No conteúdo do trabalho desenvolvido nesta dissertação é proposta uma metodologia para utilização eficaz da simulação em problemas de armazenamento

de produtos de petróleo, tanto na fase de modelagem, quanto na formulação de cenários e interpretação dos resultados obtidos pela simulação.

A simulação permite realizar inferências sobre o sistema real que está representado (modelado), descrever e analisar o seu comportamento, e fazer perguntas do tipo *what-if* (e se?), a ele aplicadas. Pode também auxiliar em projetos de novos sistemas (BANKS (1984) *apud* CHAN, 2006).

Segundo SALIBY (1999), através da simulação podemos fazer análises de sensibilidade e do tipo *what-if*, para avaliar o efeito de possíveis alterações antes que elas ocorram de fato, ou sejam implantadas.

Segundo BARBOSA *et al.* (2006, item 1) uma grande contribuição dos modelos de simulação foi permitir o estudo da correlação entre **estoque** e **nível de serviço**. Segundo os autores, a modelagem de simulação permite também, através de cenários, a análise de diversos indicadores, tais como:

- Ocupação da tancagem (média e comportamento no tempo);
- Nível de atendimento aos mercados (nível de serviço);
- Giro da tancagem;
- Nível do estoque (média e comportamento no tempo);
- Número e volume de faltas (*stock-out*);
- Ocorrência de excedentes (*overflow*);
- Riscos de paradas de unidades;
- Custo da falta de produto e custo do estoque imobilizado;
- Impacto de novos empreendimentos (novas unidades e *revamps*<sup>14</sup>).

Vários desses indicadores serão abordados adiante nesta dissertação, no capítulo sobre Modelagem (CAPÍTULO 4). A análise dos comportamentos desses indicadores deverá nortear a indicação para a tomada de decisão no dimensionamento da capacidade de armazenamento, constituindo etapa fundamental da metodologia que será proposta adiante. Os indicadores riscos de paradas de unidades e impacto de novos empreendimentos não serão abordados,

---

<sup>14</sup>Revamp – termo largamente utilizado entre os profissionais da indústria petrolífera, que significa um processo aplicado, após alguns anos de operação, a um grupo de unidades de processamento, normalmente do refino, compreendendo **revisão** da tecnologia e modernização dessas unidades, e também **ampliação** da sua capacidade.

haja vista sua implicação estratégica na cadeia logística como um todo, não apenas sobre a unidade cuja capacidade estará sendo dimensionada.

De posse dos resultados da simulação de um sistema logístico, é também possível uma avaliação financeira simplificada de alternativas selecionadas, a exemplo do trabalho descrito por TORRES *et al.* (2006). Nesse trabalho, foi utilizada uma modelagem agregada do escoamento de diesel e gasolina, de refinaria para terminal marítimo, para exportação. Quatro indicadores, obtidos dos resultados do modelo, foram analisados: utilização da tancagem; tamanho da fila de navios; utilização da mono-bóia<sup>15</sup>; e o principal deles, a vazão de carga da refinaria.

## 2.5

### Fatores relevantes

Os modelos de simulação podem apresentar como resultado, ampla variedade de dados, dependendo da natureza de sua modelagem conceitual. Entretanto não são ferramentas ou aplicativos capazes de gerar automaticamente uma tomada de decisão. Observação desse tipo aparece em LIMA *et al.* (2007, cap 1), explicando os autores que a modelagem computacional é apenas uma etapa de um processo decisório mais geral, e que o objetivo do modelo é oferecer, na medida do possível, subsídios para a tomada de decisão, a qual compete aos membros da esfera gerencial, envolvidos no assunto.

É relativamente fácil elaborar uma análise sobre dados realizados de um sistema real, cuja interpretação possui clareza suficiente. Contudo, fazer semelhante análise sobre dados de um sistema ainda em projeto, emitindo pareceres consistentes e confiáveis, é uma tarefa desafiadora, cuja dificuldade principal se traduz pelas incertezas associadas aos dados de previsão e aos próprios cenários considerados.

Tomemos como exemplo o dimensionamento de uma base de distribuição. O foco da questão será o nível total de estoque e a capacidade total de armazenamento (tancagem), para cada produto, conforme visto anteriormente. Uma indicação dos níveis apropriados para essas variáveis, como resultados da

---

<sup>15</sup> Dispositivo marítimo para embarque e desembarque de petróleo e gás natural. Ver também definição oficial no ANEXO I.iv.

análise do seu comportamento, poderá ser obtida através da simulação do sistema da base de distribuição isolada, considerando conhecidos os seus fluxos de entrada e saída de cada produto.

Suponhamos que o produto chega a essa base de distribuição por duto a partir de uma refinaria adjacente. Se por exemplo existir um projeto de duplicação dessa linha dutoviária, dentro do horizonte que foi considerado no dimensionamento da base, não poderemos ignorar esse projeto na modelagem do sistema de suprimento da base em questão, sob pena de estarmos simulando incorretamente o fluxo de entrada de produtos, obtendo indicação falsa do nível de estoque e da tancagem correspondentes.

Portanto, como importante medida preliminar no dimensionamento de unidades de armazenamento, caberá ao analista verificar a situação dessa unidade em estudo dentro da cadeia de suprimento, a fim de se certificar de que o modelo considera todos os elementos logísticos passíveis de produzir mudanças cruciais na solução apresentada para nível de estoque e capacidade de armazenamento da unidade. Os autores LIMA *et al.* (2007, cap. 4) colocam em outras palavras a importância dessa medida preliminar, destacando o papel crucial que o escopo do modelo representa, e alertando que um escopo incompleto pode levar a conclusões falhas no processo decisório. Assinalam também a importância de cuidadosa verificação de cada departamento e pessoa envolvidos no sistema a ser modelado, de modo a evitar o risco de que o escopo do modelo seja invalidado, em alguma fase avançada do projeto.

Considerações relevantes no dimensionamento do nível de estoque e da tancagem de uma unidade de armazenamento são também encontradas em WANKE (1999) *apud* CHAN (2006, cap 3, pág 11; 17-18). O autor alerta para a necessidade de análise preliminar do grau de eficiência do transporte, da armazenagem e do processamento de pedidos, e que a redução de estoques sem considerar os fatores acima pode resultar em um aumento do custo logístico total.

De nada servirá, portanto, uma solução proporcionada por uma simulação da operação de uma unidade de armazenamento sem considerar aspectos de otimização da cadeia de suprimento à qual a unidade pertence.

De nada adiantará também uma solução de tancagem, cuja implantação no caso real seja inviável, devido à existência de vários fatores limitantes da

construção de tanques, que não foram considerados nos cenários analisados nas simulações.

As restrições de espaço disponível para construção de tanques devem ser consideradas, por razões óbvias. Tanques de armazenamento necessitam também de um afastamento mínimo entre si, conforme diretrizes de segurança (MYERS, 1997, cap. 1, seção 1.6.2, pág. 26).

Se for preestabelecido um limite do orçamento destinado à construção de tancagem da unidade de armazenamento, é claro que a restrição correspondente também deverá ser considerada nos cenários analisados nas simulações.

O tempo necessário para construção dos tanques também necessita ser considerado, para que seja verificado se o período de construção não se sobrepõe a algum horizonte considerado no modelo de simulação da operação de armazenamento da unidade em estudo<sup>16</sup>.

Comunidade vizinha e responsabilidade social são fatores importantíssimos a ser considerados em qualquer projeto que envolve armazenamento de produtos inflamáveis e tóxicos, como é o caso de produtos de petróleo. A indicação de construção de tanques, obtida de modelos, não deverá negligenciar o conseqüente avanço da área ocupada pelas instalações, próximas a comunidades. Por exemplo, a existência de uma comunidade residencial, ainda que atualmente esteja afastada da unidade de armazenamento, porém passível de crescer até atingir as cercanias das instalações no futuro, é sempre uma preocupação legítima dos componentes de grupos de trabalho responsáveis por projetos de implantação ou ampliação de ativos logísticos, notadamente da indústria do petróleo (Instrução Técnica DECON No.14/2007).

As restrições ambientais são também de capital importância, principalmente na época atual. São elevados os custos que incidem direta ou indiretamente sobre uma companhia, em face de envolvimento em problemas ambientais. As restrições poderão ser aplicadas à operação da unidade ou na fase de construção, dependendo das áreas envolvidas. A restrição ambiental poderá se

---

<sup>16</sup> O tempo total simulado (representado na modelagem) não corresponde necessariamente a um horizonte considerado no estudo, e pode ser interpretado como um período de apuração dos eventos ocorridos no sistema, caso as condições e premissas sejam mantidas. A ressalva foi feita no texto para o caso de se utilizar uma modelagem que efetivamente considere uma conjuntura em função de um horizonte pré-determinado.

traduzir em uma limitação geral de construção do parque de armazenamento (Instrução Técnica DECON No.14/2007).

Até aqui foram expostos fatores relevantes no dimensionamento da capacidade de armazenamento, os quais apresentam características **exógenas** aos modelos, isto é, referem-se a elementos externos e, portanto, existirão independentemente da construção de modelos de simulação.

Os autores LIMA *et al.* (2007, cap.2-6) ilustram exemplos de fatores relevantes **endógenos** aos modelos, por outro lado. Esses fatores são os que desafiam as equipes de modelagem de simulação, durante a fase de suporte à tomada de decisão, quando as recomendações baseadas nos resultados do modelo estão sujeitas a sérios questionamentos por parte dos interessados no estudo. Ou então, quando esses resultados estão conforme as expectativas dos interessados, o seu excesso de otimismo pode levá-los a negligenciar limitações importantes do modelo, ou a dispensar uma análise de sensibilidade sobre dados de entrada e premissas, a qual pode revelar drásticas mudanças em função de variações dos mesmos. Os principais fatores relevantes apontados pelos autores citados podem ser resumidos conforme a seguir:

- Por mais abrangente que seja o modelo, sua capacidade de análise não pode ser superestimada, dado que existe uma limitação do seu escopo;
- As variáveis aleatórias do sistema são representadas por distribuições de probabilidade construídas com base em dados passados, e não existe garantia de que o sistema se comportará de modo semelhante, no futuro;
- Algumas variáveis têm padrão de comportamento baseado em cenários futuros, que podem não se realizar;
- Algumas variáveis, cujo valor é fixo, ou obtido do cálculo de uma média, são mais bem representadas por uma distribuição de probabilidade. A omissão desse detalhe acaba levando a conclusões errôneas;
- O escopo do modelo e as premissas devem ser previamente negociados junto aos interessados no estudo;
- Dados históricos que pertencem a períodos não representativos da operação do sistema, considerando também que eventos do passado repetir-se-ão no futuro, podem levar a conclusões errôneas. Os dados devem ser selecionados de modo a abranger um período de tempo

razoável, que não contenha grandes choques conjunturais ou descontinuidades operacionais;

- Os dados do modelo devem ser **consistentes**, isto é, devem representar bem o sistema que está sendo modelado. É recomendado o emprego de ferramentas de análise estatística (análise de variância, determinação de intervalo de confiança, teste de hipótese, ajuste de curvas) e de séries temporais para comparação de dados reais do sistema com aqueles gerados pelas distribuições de probabilidade utilizadas no modelo;

Com base no que foi exposto acima, conclui-se que a solução do problema de dimensionamento de capacidade de armazenamento envolve uma série de questões prévias à construção do modelo, as quais podem revelar aspectos cruciais na tomada de decisão, com relação ao projeto de dimensionamento em questão. Superadas estas questões relevantes, pode-se dar prosseguimento ao estudo, para o qual, a literatura indica a modelagem de simulação como a mais apropriada para análise do problema.