

4

A Modelagem do Problema – Estratégia de Solução

4.1

Introdução

Neste capítulo, será descrito o passo a passo da metodologia para solucionar o problema de dimensionamento da capacidade de armazenamento de produtos de petróleo e biocombustíveis, conforme proposto no início desta dissertação⁴³. Problemas deste tipo decorrem de casos reais presentes na indústria do petróleo. Eles podem ser de três tipos:

- Construção do parque de armazenamento de uma unidade logística em projeto;
- Ampliação do parque de armazenamento de uma unidade logística existente;
- Realocação dos tanques do parque de armazenamento de uma unidade logística;

O primeiro dos problemas acima listados geralmente é formulado pelos profissionais integrantes da área de planejamento estratégico ou da equipe responsável pela gestão da carteira de projetos da empresa, visando obter uma previsão do comportamento do sistema em projeto, e a aquisição de dados para respaldo de estudos de viabilidade econômica. O problema da ampliação do parque de armazenamento pode também advir das mesmas equipes citadas, podendo também ser levantado pela área comercial ou de *marketing*, quando há perspectivas de crescimento da demanda na área de influência da unidade de armazenamento, ou ainda, pelas áreas do refino (produção industrial) ou de

⁴³ O problema do dimensionamento relativo à armazenagem de petróleo e outras matérias-primas não será abordado neste trabalho, por envolver uma complexidade maior, em face da existência de um parque de refino de grande variedade estrutural colocado à jusante na cadeia de suprimento, não estando mesmo assim descartada a utilidade da simulação neste caso.

*upstream*⁴⁴, por estar relacionado a projetos de ampliação da capacidade de unidades de produção. A realocação de tanques, por se tratar de um problema da alçada da área de logística operacional, geralmente com horizonte no curto prazo, raramente origina projetos envolvendo problema de dimensionamento, embora, em sua essência, continue a existir como tal, podendo ensejar tais projetos, ou estudo de viabilidade, quando o impacto logístico previsto for relevante⁴⁵.

A formulação do problema de dimensionamento da capacidade de armazenamento geralmente recai em duas questões:

- Quantos tanques são indicados para cada produto?
- Quais as capacidades indicadas para cada tanque?

Em alguns casos, as opções de número de tanques e capacidades respectivas são pré-definidas nos objetivos do estudo, e se deseja saber qual das opções é a melhor⁴⁶. Quando não existe tal premissa, o resultado da simulação poderá indicar volumes totais de estoque e capacidade de armazenamento para cada produto, podendo ser necessária uma segunda etapa na modelagem da simulação, caso se pretenda determinar a solução para as duas questões acima, na ausência da indicação prévia de número de tanques e capacidades respectivas.

O problema do dimensionamento do parque de armazenamento envolve certas particularidades, como características dos produtos, sua demanda e a sistemática pertinente a essa demanda, características dos ativos logísticos instalados e dos modais de transporte para suprimento de produtos, bem como algumas regras importantes, etapas e subprocessos críticos. Adiante será abordada cada uma dessas particularidades. Elas são de capital importância, principalmente na fase de modelagem do problema, quando as características operacionais do sistema real são incorporadas na lógica do modelo de simulação. A formulação de

⁴⁴ O segmento da indústria petrolífera que compreende a exploração, perfuração de poços, extração, transporte e armazenamento de petróleo e gás natural antes da entrada no parque de refino ou nas unidades que comercializam esses produtos.

⁴⁵ Alguns estudos, embora utilizem modelagem de simulação envolvendo unidades de armazenamento, não têm por objetivo o dimensionamento da capacidade. Estudos de alternativas logísticas, para instalação de ativos como berços de atracação, monobóias, bombas, etc, são exemplos. Outros estudos podem visar apenas um diagnóstico logístico do sistema, ou ainda, apenas a gestão de estoques.

⁴⁶ Ainda assim, é possível que se verifique, na própria simulação, que uma solução previamente escolhida não seja adequada, ressurgindo, nesse caso, as duas questões formuladas acima.

alternativas estratégicas, cuja aplicação é objeto de estudo através da simulação, em boa parte depende da compreensão dessas particularidades, assim como a interpretação dos resultados.

Não propomos abordar aqui as técnicas de construção de modelos de simulação. Do âmbito dos programadores responsáveis pela construção desse modelo, parte-se da hipótese de que tais técnicas são de domínio desses profissionais, aos quais é confiada a tarefa de modelagem do problema de dimensionamento aqui proposto, e que o modelo disponível para suporte à análise seja **confiável**, isto é, que os seus processos de **verificação** e **validação** tenham sido efetuados a contento. A matéria apresentada nesta dissertação contém exclusivamente conceitos de ordem estratégica ou fundamentados nas teorias da estatística, os quais são úteis tanto à análise de resultados como no processo de construção do modelo.

Do âmbito do usuário que utiliza a simulação para analisar o problema, pressupõe-se que o sistema esteja representado adequadamente, considerando a cadeia de suprimento à qual pertence⁴⁷, incluindo os detalhes relevantes e estratégicos. O elenco das variáveis de entrada e de saída do modelo já deverá estar definido, assim como as respectivas distribuições de probabilidade envolvidas. Para o responsável pela análise, a estratégia de solução do problema de dimensionamento compreenderá as etapas da simulação do sistema em foco e da análise dos resultados, com base nos fundamentos expostos nesta dissertação.

4.2

Produtos – características

É necessária a definição prévia dos produtos que serão objeto de estudo. Neste ponto, surge uma questão tática quanto à natureza do modelo: se cada produto será simulado separadamente, ou vários, no mesmo modelo⁴⁸. Em grande parte dos casos, a simulação do produto individual tem sido aplicada, com resultados satisfatórios. A simulação de mais de um produto no mesmo modelo pode se justificar quando a operação logística envolve mistura, ou quando se

⁴⁷ Rever capítulo 2, seção 2.5.

⁴⁸ No APÊNDICE VI.1, o fluxograma intitulado “CARACTERIZAÇÃO DA NATUREZA DO PROBLEMA” auxilia na classificação do problema de armazenamento e na determinação da natureza do modelo correspondente.

estuda o intercâmbio de tanques no parque de armazenamento, ou o compartilhamento dos modais de transporte de produtos. Cada caso deve ser julgado criteriosamente, não somente pelos programadores responsáveis pela construção do modelo e pelos usuários (analistas), mas, de preferência, por toda a equipe envolvida no projeto, visando definir a opção correta.

Os principais produtos líquidos de petróleo são: gás liquefeito de petróleo (GLP); nafta petroquímica; gasolina A; gasolina C; gasolina de exportação; querosene de aviação (QAV); diesel; lubrificantes; óleo combustível⁴⁹. Os principais produtos classificados como biocombustíveis são: álcool anidro; álcool hidratado; biodiesel.

As propriedades físicas, químicas e físico-químicas dos produtos armazenados são de importância fundamental. As propriedades mais importantes aplicam-se aos produtos líquidos, pois são eles a maioria dos produtos armazenados. No ANEXO I.v descrevemos as principais, de maneira sucinta. A escolha do tipo de tanque que será utilizado para estocar o produto dependerá dessas propriedades⁵⁰. Assim, por exemplo, produtos muito leves são normalmente armazenados em tanques de formato esférico, sob pressão, em face de sua elevada pressão de vapor, ou em tanques refrigerados (criogênicos). Inversamente, produtos pesados apresentam baixa fluidez, exigindo permanente aquecimento em tanque, assim como em linhas de tubulação de transferência interna do parque de armazenamento.

Os tanques de armazenamento de produtos podem ser classificados em tanques **atmosféricos** (operam a pressão até 0,5 psi⁽⁵¹⁾ acima da pressão atmosférica), de **baixa pressão** (operam a pressão até 15 psi acima da pressão atmosférica), e de **alta pressão** (operam a pressão maior do que 15 psi acima da pressão atmosférica). Os tanques de formato **esférico**, para armazenamento de produtos muito leves (como o GLP) são exemplos de tanques de alta pressão. Como alternativa de armazenamento para esses produtos, existem os tanques **refrigerados (criogênicos)**, que permitem armazenar os produtos em estado

⁴⁹ As definições detalhadas de cada produto se encontram no ANEXO I.i. Os produtos intermediários podem algumas vezes ser armazenados em terminais (gasóleo, por exemplo), para transferência a outra refinaria.

⁵⁰ No APÊNDICE VI.1 o fluxograma intitulado “PRODUTOS – CARACTERÍSTICAS” auxilia na determinação dos tipos de tanque que devem ser representados no modelo, em função das características dos produtos movimentados.

⁵¹ O mesmo que lb/pol².

líquido sob pressão menor⁵², e em maior volume, mantidos a baixa temperatura. Tanques também se classificam como de **teto fixo**, para armazenar produtos de baixa pressão de vapor, ou de **teto flutuante**, para produtos líquidos à temperatura ambiente, que possuem pressão de vapor elevada (MYERS, 1997, cap. 1, seção 1.3, pág. 11-19). Dependendo do grau de aproximação do modelo de simulação com o sistema real, que se deseja atingir, a escolha de um dos tipos acima citados (com as respectivas implicações nas variáveis e indicadores do modelo) pode fazer diferença em termos de resultado logístico ou econômico apresentado.

Além das características de produtos (citadas no ANEXO I.v), outras podem também se constituir em fatores relevantes na modelagem do sistema⁵³. O aprofundamento da investigação prévia da operação (quando viável), junto aos profissionais da área operacional da unidade, pode revelar detalhes cruciais sobre os produtos, para aplicação no modelo, os quais podem às vezes passar despercebidos, quando se limita à visão geral da unidade dentro da cadeia de suprimento. Mais adiante será visto como as características de produtos podem formar regras importantes a se considerar na simulação da operação das unidades de armazenamento.

4.3

Os locais de armazenamento de produtos

Nesta seção serão descritos com maior detalhe os principais tipos de unidades logísticas de armazenamento de produtos – os **terminais** e as **bases de distribuição**⁵⁴. Será também apresentada breve abordagem sobre **centros coletores**, e **unidades de produção** no *downstream* (refinarias) ou *upstream*.

Terminal marítimo: A operação de um terminal marítimo abrange a atracação e desatracação de navios-tanque em **berços de atracação** (píeres), **monobóias**, ou outros dispositivos⁵⁵ (Fig. 4.3.1), recebimento de produtos de navios-tanque atracados, por bombeamento até os tanques do terminal, expedição de produtos a

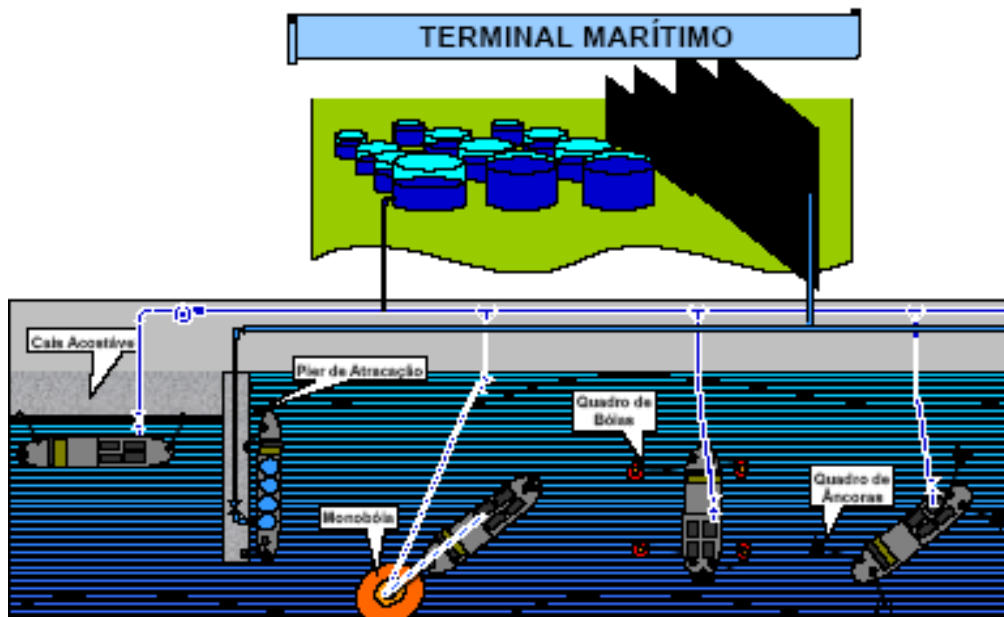
⁵² Nesse caso os tanques não são necessariamente de formato esférico.

⁵³ Para o querosene de aviação, por exemplo, a presença de água é crítica, e rigorosa a especificação de qualidade correspondente (Documento técnico – ASTM, 2007 – D1094-07).

⁵⁴ As definições oficiais, segundo a ANP, encontram-se no ANEXO I.ii.

⁵⁵ As definições oficiais, segundo a ANP, encontram-se no ANEXO I.iv.

partir de tanques do terminal para navios-tanque atracados, e a armazenagem de produtos nos tanques do terminal. O termo marítimo é atribuído devido à movimentação de produtos entre as embarcações marítimas e o terminal. Essa movimentação é realizada por meio de linhas dutoviárias internas de pequena extensão.



FONTE: Nota_Tecnica_ANP_SPG01_2001

Figura 4.3.1: Dispositivos de atracação em um terminal marítimo (da esquerda para a direita): cais acostável; píer de atracação; monobóia; quadro de bóias múltiplas; quadro de âncoras.

A função principal de um terminal é abastecer refinarias ou mercados existentes na cadeia de suprimento à qual o terminal pertence. O abastecimento de petróleo às refinarias é feito geralmente por duto, modal empregado também para envio de produtos para abastecer o mercado local ou mesmo algum mercado distante. Existem também exemplos de terminais marítimos que recebem produtos de refinarias, por dutos⁵⁶. É admissível ainda a modelagem de terminais marítimos que utilizam modal ferroviário, rodoviário ou hidroviário, numa segunda etapa, para abastecimento de produtos a mercados. Existem exemplos de utilização de navios, fundeados na área de abrangência do terminal, cuja função exclusiva é

⁵⁶ O terminal de Madre de Deus-BA é um exemplo.

armazenar produtos em seus tanques. Esse recurso de armazenamento é conhecido como **tancagem flutuante** ou **navio-cisterna**⁵⁷.

Terminal hidroviário: Terminal fluvial ou lacustre. A distinção em relação aos terminais marítimos existe em face da localização da hidrovia distante do litoral, ou devido à operação com embarcações de espécie diferente e de porte menor do que o dos navios-tanque que operam nos terminais marítimos. A operação do terminal hidroviário possui etapas semelhantes às do terminal marítimo, logicamente estando incluídos o recebimento, armazenamento e envio de produtos.

Terminal terrestre: A operação de um terminal terrestre é basicamente o recebimento de produtos, geralmente por duto, o armazenamento dos produtos nos seus tanques e o envio para abastecimento do mercado local ou de mercados distantes, podendo para isso utilizar diferentes modais de transporte, dependendo do local de destino. Terminais terrestres geralmente estão próximos das refinarias, ou fazem parte de um complexo de armazenamento intermediário construído entre várias refinarias ou unidades de produção⁵⁸. A função principal dessas instalações intermediárias é prover flexibilidade à programação de movimentação de produtos ou à sua capacidade de armazenamento, responsabilidades essas normalmente atribuídas à área da logística operacional. Existem também terminais terrestres em locais distantes das refinarias. São geralmente terminais supridos por dutos de grande extensão, a partir de refinarias, para atendimento de mercados regionais estrategicamente escolhidos.

Base de Distribuição: Nas instalações das Bases de Distribuição são armazenados os produtos para abastecimento de um mercado local, ou para posterior envio para abastecimento de mercados distantes. Os tanques podem conter volume de produto compartilhado entre várias companhias distribuidoras, ou pertencente a somente uma companhia. A operação de recebimento de produtos normalmente é realizada através de modais de transporte capazes de

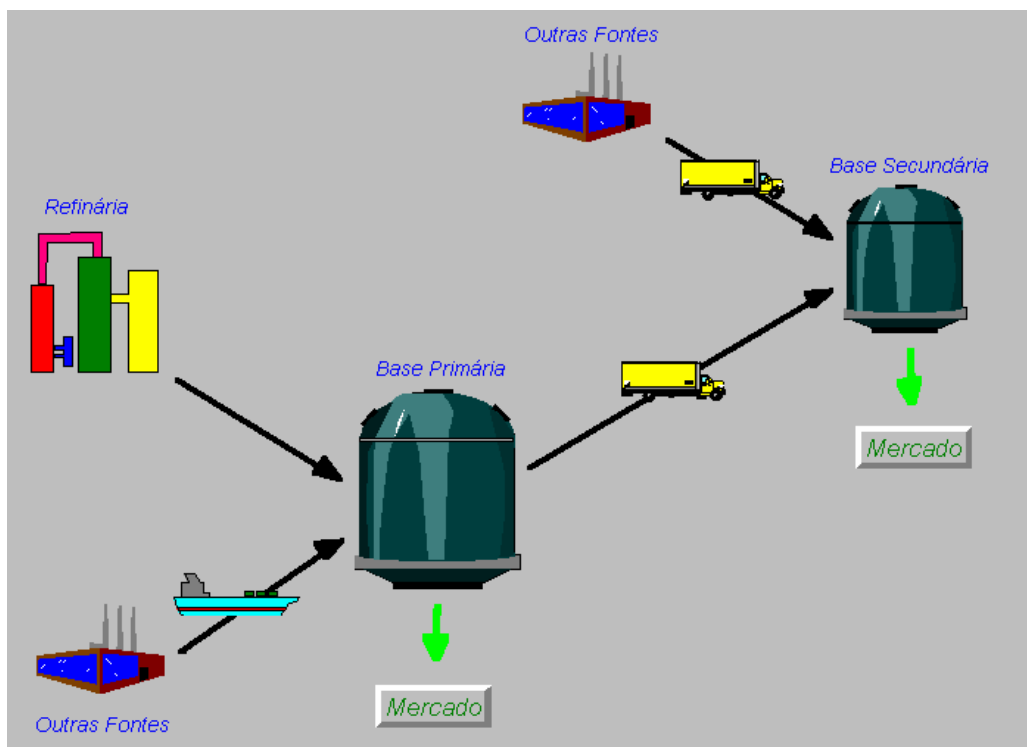
⁵⁷ Utilizada por exemplo no porto de Suape (Recife) para armazenagem de GLP (TRANSPETRO, 2008).

⁵⁸ Como por exemplo, os terminais no estado de São Paulo.

movimentar economicamente grandes volumes de graneis líquidos, como por exemplo, dutos e ferrovias. Isso também se aplica à operação de envio de produtos para abastecimento de outra Base de Distribuição da cadeia de suprimento. Já a operação de envio para o mercado local geralmente é realizada através de modal rodoviário, em menor escala, em face da subdivisão do mercado a partir desse estágio, na cadeia de suprimento (demanda por município). Outra operação importante, realizada internamente às Bases de Distribuição, é a **mistura** de produtos, como a da gasolina **pura** (gasolina A) com o álcool anidro (conforme as especificações determinadas pela ANP), produzindo a gasolina C, que é a gasolina vendida ao consumidor final nos postos de combustível. Bases que recebem produtos diretamente de refinarias ou terminais são classificadas como **Bases de Distribuição Primárias**. As Bases que somente recebem produtos de outra Base de Distribuição denominam-se **Bases de Distribuição Secundárias**⁵⁹ (conforme ilustrado na Fig. 4.3.2). Bases Primárias estão geralmente próximas a refinarias e terminais, mas também existem Bases Primárias distantes⁶⁰. Bases Secundárias destinam-se ao atendimento de mercados distantes, ou que não podem ser diretamente abastecidos pelas unidades de produção ou pelos terminais (SOARES, LEAL, *et* AZEVEDO, 2003).

⁵⁹ É admissível que uma Base possa receber um produto de uma refinaria, e um segundo produto de uma outra Base. Isso não deve constituir embaraço na classificação das Bases.

⁶⁰ As Bases de Ribeirão Preto, Uberaba, Uberlândia, Senador Canedo e Brasília, por exemplo, recebem produtos diretamente das refinarias e terminais de S. Paulo, através do duto REPLAN-Brasília (OSBRA).



FONTE: PEREIRA *et al.* (2003) - Dimensionamento de Estoques em Bases de Distribuição de Combustíveis Usando Simulação

Figura 4.3.2: Base Primária e Base Secundária na cadeia de suprimento

RODRIGUES e SALIBY (1998) falam da necessidade de se dimensionar o número de plataformas (baias) de carregamento de caminhões-tanque em um terminal ou base de distribuição, e o número de bicos de carregamento de combustíveis para cada produto, em cada uma dessas baias, com o intuito de reduzir os tempos de espera para atendimento dos caminhões-tanque, bem como o tamanho da fila de caminhões-tanque em espera. Verificaram também que o tempo total de atendimento tende a crescer exponencialmente, com a redução do número de bicos de carregamento.

Não será analisado nesta dissertação o dimensionamento de seção de plataformas de carregamento, dos respectivos números de bicos de carregamento, ou da vazão das bombas. Entende-se que o problema principal de um terminal ou base de distribuição é a disponibilidade de produto para entrega, de modo que apenas indicadores relativos às duas variáveis principais, nível de estoque e capacidade de armazenamento (e suas partições) serão objeto de estudo.

Centro Coletor: É um terminal que realiza a coleta de produtos em pequenos volumes e a consolidação do armazenamento em larga escala, a exemplo de uma das funções da armazenagem classificadas por BALLOU (1993, cap. 8, pág. 159). A logística do álcool e do biodiesel utiliza centros coletores, geralmente construídos na área de concentração das numerosas fontes produtoras, e servidos por rede ferroviária ou dutoviária, para envio de volume em maior escala, ao mercado interno ou para exportação (no caso do álcool etílico hidratado)⁶¹.

Refinaria e unidade de produção no *downstream*: As decisões sobre armazenamento de produtos dentro do parque interno das refinarias envolvem quase sempre questões de responsabilidade da área do refino⁶², raramente envolvendo a logística operacional⁶³. A complexidade inerente a esses problemas envolve outros tipos de modelagem, além da simulação (citando como exemplo AL-OTAIBI *et* STEWART, 2004), não sendo objeto de estudo nesta dissertação⁶⁴.

Unidade de produção no *upstream*: Decisões estratégicas sobre armazenagem nas regiões de produção podem justificar estudos de simulação. Produtos leves como GLP, gasolina natural, éter de petróleo ou ligroína (GEOCITIES, 2008) são os que ensejam a tomada de decisões, por necessitar de tanques pressurizados ou refrigerados, que representam investimentos de porte relevante na cadeia de suprimento⁶⁵.

⁶¹ Bases de Distribuição podem também receber produtos em pequena escala, geralmente por transporte rodoviário, atuando como centro coletor, como no caso da logística dos biocombustíveis.

⁶² É grande a complexidade dessas questões, como por exemplo, a mistura de correntes diferentes de um produto para enquadramento nas especificações, a alocação de produtos intermediários em tanques, a degradação de produtos, etc.

⁶³ Um exemplo é o recebimento programado de carga da unidade de craqueamento catalítico para acumular estoques antecipadamente, por vários meses, em face da parada programada da unidade de destilação atmosférica, que é a fonte de suprimento normal da carga do craqueamento catalítico.

⁶⁴ Teoricamente é admissível, entretanto, que uma parte do espaço de armazenagem disponível na refinaria possa ser utilizada estrategicamente, como complemento da tancagem de um terminal adjacente, podendo ser interpretada como parte da cadeia de suprimento da qual o terminal faz parte. Nesse caso, o volume e o espaço de armazenamento correspondentes podem ser simulados como se existissem isoladamente dentro da instalação da refinaria, embora na realidade provavelmente esses volumes tenham que ser compartilhados dentro de um mesmo tanque, sendo portanto apenas quantidades de produto alocadas dentro do parque de armazenamento da refinaria. Fora essa exceção, de caráter estratégico, não caberia aqui estudar o dimensionamento do parque de armazenamento de refinarias.

⁶⁵ A logística do gás natural liquefeito é outro exemplo, envolvendo investimentos em plantas de liquefação, localizadas na origem, e de re-gaseificação, localizadas nos destinos do produto.

As espécies de locais de armazenamento citadas nesta seção abrangem praticamente todas as possibilidades existentes na indústria do petróleo⁶⁶.

4.4

Os modais de transporte de produtos

A escolha dos modais de transporte a serem utilizados por uma unidade de armazenamento em projeto deverá ser definida junto à área de planejamento operacional logístico da empresa (ou de planejamento estratégico), considerando a otimização na cadeia de suprimento à qual a unidade pertence⁶⁷. Em estudos de redimensionamento de unidades de armazenamento já existentes, os modais de transporte de produto já estão operando, e não precisarão ser projetados, a não ser que nesse estudo esteja sendo considerada também a inclusão ou ampliação da capacidade de determinada modalidade de suprimento.

Produtos derivados de petróleo seguem um trajeto logístico basicamente diferente daquele seguido pelos produtos biocombustíveis. Os primeiros partem das refinarias, ou são importados, ou transferidos para terminais situados em regiões metropolitanas ou em locais próximos ao litoral, sendo transportados até o interior⁶⁸, em escala de granel. Os biocombustíveis, ao contrário, por serem produzidos a partir de numerosas fontes rurais primárias situadas no interior⁶⁹, geralmente em pequena escala, são transportados em pequeno volume até unidades de armazenamento⁷⁰ para acumular estoques, visando consolidar volume que caracterize uma escala de granel, sendo então transportados através dos modais de grande porte até os grandes centros de consumo⁷¹.

O trabalho de modelagem será a representação adequada das operações de cada um desses modais de transporte no sistema em estudo, considerando apenas

⁶⁶ No APÊNDICE VI.1 o fluxograma intitulado “LOCAIS DE ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS” auxilia na tarefa de configuração dos locais de armazenamento que devem ser representados no modelo, considerando definidos os tipos de tanque determinados em função das características dos produtos movimentados.

⁶⁷ Conforme capítulo 2, seção 2.5.

⁶⁸ Considerando que essa transferência está condicionada ao abastecimento prioritário dos mercados dessas áreas metropolitanas e litorâneas.

⁶⁹ As destilarias de cana-de-açúcar que produzem o álcool etílico, e as unidades de esmagamento de produtos oleaginosos mais as usinas de transesterificação, responsáveis pela produção do biodiesel.

⁷⁰ Centros coletores e Bases de Distribuição.

⁷¹ Com exceção, é claro, na importação dos produtos biocombustíveis.

as mais relevantes, descartando detalhes operacionais excessivos, que não influem apreciavelmente nos resultados. Os parâmetros característicos de cada um desses modais entrarão no modelo como dados fixos de entrada, variando exclusivamente de acordo com diferentes cenários, ou poderão ser representados como variáveis aleatórias de entrada, sendo necessário, nesse caso, estabelecer quais as respectivas distribuições de probabilidade. O trabalho de análise deverá considerar os valores dos indicadores relevantes de transporte, relativos a cada um desses modais, com base na metodologia exposta a seguir⁷².

BALLOU (2004, cap. 6 pág. 151) destaca cinco modais de transporte básicos: **aquaviário ou hidroviário, dutoviário, ferroviário, rodoviário e aeroviário**⁷³. Um produto poderá utilizar mais de uma espécie de modal durante o seu percurso na cadeia de suprimento desde a fonte produtora até o mercado consumidor. Na logística de produtos de petróleo, a troca intermodal geralmente ocorre dentro de uma unidade de armazenamento. Segundo o autor citado, quatro características básicas de desempenho regem o processo de decisão sobre transportes. São elas o **custo (preço), tempo médio de viagem, variabilidade do tempo de trânsito, e perdas e danos**. Essas características (Tabela 4.4.1) são também relevantes no modelo de simulação, em grande parte dos casos aplicados, como auxílio na tomada de decisões, por se tratar de indicadores ou de componentes na formulação de indicadores.

⁷² No APÊNDICE VI.1 o fluxograma intitulado “MODAIS DE TRANSPORTE DE PRODUTOS” auxilia na tarefa de configuração do recebimento e envio de produtos nos locais de armazenamento representados no modelo, dentro do contexto da cadeia de suprimento.

⁷³ No Brasil, apenas o modal aeroviário não é utilizado normalmente para transporte de produtos de petróleo.

Tabela 4.4.1: Classificação dos modais de transporte por características de desempenho.

Modal de Transporte	Custo por tonelada-milha	Tempo Médio de Entrega ^(a)	Variabilidade do tempo de entrega		Perdas e Danos
			Absoluta	Percentual ^(b)	
Aquaviário	1	5	5	4	2
Dutoviário	2	4	2	1	1
Ferrovário	3	3	4	3	5
Rodoviário	4	2	3	2	4
Aeroviário ^(c)	5	1	1	5	3
Valores menores correspondem a	Custo menor	Tempo menor	Variabilidade menor		Risco menor

(a) Considerando a entrega porta-a-porta.

(b) Taxa da variação absoluta do tempo de entrega em relação ao tempo médio de entrega.

(c) Transporte doméstico.

Extraído de BALLOU (2004, cap. 6, pág. 158).

Modal aquaviário: A subdivisão do modal aquaviário em transporte **marítimo**, e em transporte por **navegação interior** (fluvial ou lacustre) é proposta no presente trabalho, para facilidade na abordagem de casos específicos do problema de dimensionamento da unidade de armazenamento. O menor custo unitário do transporte marítimo e a grande capacidade de transporte disponível dos navios-tanque viabilizam a comercialização com mercados no exterior, para importação ou exportação de produtos, assim como o abastecimento de mercados distantes por cabotagem, por meio dos terminais marítimos. Em contraste com o baixo custo unitário de transporte, os custos de investimento em navios-tanque são elevados. Evidentemente, a decisão de se investir na construção de uma unidade de armazenamento localizada no litoral dependerá da identificação inequívoca das linhas de suprimento marítimo por importação ou por cabotagem, disponíveis para cada produto a ser abastecido na unidade de armazenamento.

A navegação interior está sujeita a restrições mais rígidas de capacidade, e de navegabilidade das hidrovias. Esses fatores acabam determinando, em última análise, a disponibilidade de linhas de suprimento de produtos através da hidrovia, e influenciando, analogamente ao caso anterior, na decisão de construção de unidades de armazenamento às margens da hidrovia. O custo unitário de transporte tende a ser maior do que o custo unitário do transporte marítimo, devido à redução de capacidade e das distâncias percorridas. Em compensação, o investimento em embarcações (mais simples) é menor em relação ao transporte marítimo.

Dependendo das características da hidrovia, existem restrições operacionais relevantes⁷⁴, que deverão ser consideradas, no estudo da simulação desses sistemas.

Modal dutoviário: O transporte dutoviário (classificado na Tabela 4.4.1) envolve longas distâncias e grandes volumes de produto movimentado. Segundo BALLOU (2004, cap. 6, pág. 167), isso é pré-requisito para garantir a competitividade do transporte dutoviário, devido à sua elevada parcela de custos fixos, que precisa ser rateada em relação ao volume. Nessa parcela está incluída a amortização de investimentos elevados na construção da linha dutoviária⁷⁵. Entretanto, os custos variáveis de transporte são pequenos, e a movimentação de produto em larga escala permite obter um custo total unitário reduzido. Duas hipóteses alternativas envolvendo modal dutoviário se apresentam à estratégia de solução do problema de dimensionamento: (a) o duto está em projeto; (b) o duto já está em operação. No primeiro caso (a) o projeto principal é na verdade o planejamento do abastecimento de mercados estrategicamente escolhidos, por meio dutoviário, incluindo o dimensionamento das unidades de armazenamento (em projeto ou existentes) estrategicamente localizadas na cadeia de suprimento. No segundo caso (b) estaremos planejando a instalação de uma nova unidade de armazenamento ou revendo a capacidade de uma unidade de armazenamento existente, na cadeia de suprimento que abrange o duto.

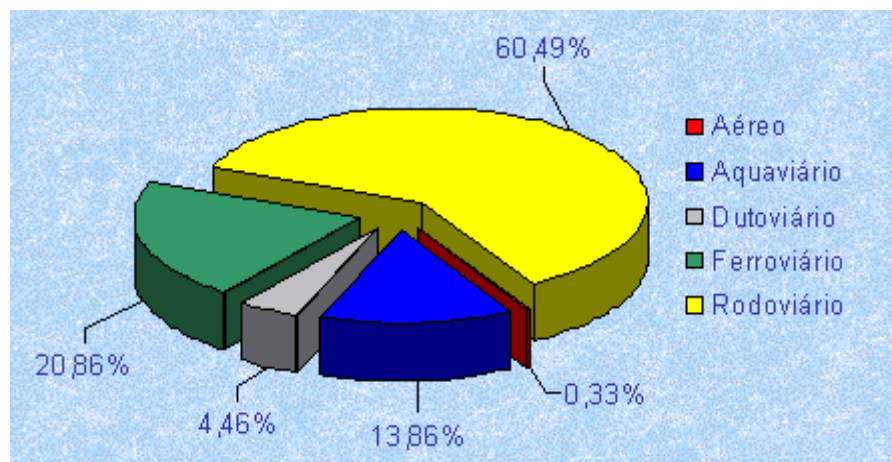
Modal ferroviário: Também é empregado no transporte de grandes volumes por médias e longas distâncias. No Brasil ele é o segundo modal mais utilizado para transporte de cargas em geral (Figura 4.4.1)⁷⁶. Os custos fixos, de natureza diversificada, são elevados, assim como os investimentos empregados no transporte ferroviário, mas os custos variáveis são relativamente baixos, e ganhos de escala consideráveis são possíveis tanto com o aumento do volume

⁷⁴ A existência de barragens ou eclusas, por exemplo.

⁷⁵ Conforme explicado no cap. 2, seção 2.1 desta dissertação. Não se trata das linhas dutoviárias internas de transferência de produtos na unidade de armazenamento, ou de linhas de conexão com unidades adjacentes, ativos esses normalmente incluídos no total de investimentos na construção das unidades de armazenamento.

⁷⁶ Para a logística de produtos de petróleo porém, o modal dutoviário é o preferido, por ser mais confiável e econômico.

transportado quanto da distância percorrida (BALLOU, 2004, cap. 6, pág. 165-166).



FONTE: GEIPOT, segundo site da ANTT

Figura 4.4.1: Composição percentual de cargas no ano 2000

O modal ferroviário é preferencialmente utilizado para o abastecimento de Bases Secundárias a partir de Bases Primárias, ou o abastecimento de Centros Coletores, quando existem linhas disponíveis para esse serviço. No Brasil existem gargalos no sistema ferroviário, o que dificulta sobremaneira a utilização desse modal no transporte de produtos de petróleo (FIGUEIREDO, 2006, pág. 5-7). O problema de dimensionamento de unidades de armazenamento (existentes ou em projeto) servidas por modal ferroviário geralmente recai em um dos seguintes casos: (a) uma Base de Distribuição Primária ou Secundária, ou Centro Coletor, abastecidos por ferrovia; (b) um Terminal ou Base de Distribuição Primária, abastecidos por duto, com subsequente envio para uma Base de Distribuição Secundária, por ferrovia.

Modal rodoviário: O caminhão-tanque é o veículo utilizado normalmente no transporte de produtos de petróleo das Bases de Distribuição até o varejo⁷⁷. É também utilizado como transporte de grandes volumes a granel para abastecimento de Bases de Distribuição situadas em locais mais distantes, ou que não possuem o serviço de transporte ferroviário ou dutoviário para o seu

⁷⁷ O varejo compreende os postos revendedores e os Transportadores Revendedores Retalhistas (TRR), sendo estes últimos encarregados do abastecimento de pequenas empresas consumidoras e do segmento da produção rural (SINDICOM, 2008).

abastecimento. As vantagens do modal rodoviário são o serviço porta-a-porta, a ausência de necessidade de transbordo (carga e descarga entre a origem e o destino), maior frequência e disponibilidade, maior velocidade, comodidade, flexibilidade e confiabilidade (BALLOU, 2004, cap. 6, pág. 155). O custo de investimento em frota de caminhões-tanque é baixo, em relação ao dos outros modais anteriormente descritos, assim como a sua parcela de custos fixos em geral. As desvantagens são a pequena capacidade, a maior parcela de custos variáveis (por tonelada-milha), e o maior risco de perdas e danos (roubo), elevando o custo dos seguros da carga e do veículo. Existe ganho de escala em função do aumento do volume transportado e da distância percorrida, porém limitado, em função da capacidade do caminhão-tanque e do percurso total máximo por viagem.

Modal aeroviário: Projetos de unidades de armazenamento de produtos de petróleo dificilmente consideram como premissa a utilização do modal aeroviário. A utilização desse modal se justifica para abastecimento de locais de difícil acesso, sendo porém pouco provável que esses locais sejam atrativos para a construção de unidades de armazenamento. Outra justificativa é a velocidade e o alcance elevados, recursos úteis para operações de abastecimento de emergência, ou cuja rapidez justifique algum ganho logístico ou estratégico no abastecimento⁷⁸. A variabilidade do tempo de entrega é baixa, embora elevada, quando comparada com os tempos médios de entrega (BALLOU, 2004, cap. 6, pág. 156). Os custos do investimento em equipamentos e aeronaves são elevados, assim como os custos fixos por viagem (pouso e decolagem), mas os custos variáveis podem ser reduzidos consideravelmente, pela maior extensão do percurso (BALLOU, 2004, cap. 6, pág. 167).

⁷⁸ A gestão adequada de estoques, conforme será visto adiante, substitui a necessidade de reabastecimento rápido, sendo preferivelmente utilizado o modal aquaviário, para transporte de grandes volumes de produto. Exceções que justifiquem a utilização do modal aeroviário não devem ser ignoradas. Um exemplo é o abastecimento de bases de operação militar em locais isolados ou estratégicos.

Transporte intermodal e multimodal⁷⁹: As combinações seqüenciais entre dois ou mais modais de transporte se justificam pelos ganhos econômicos proporcionados, e também pelos ganhos de eficiência, por permitir a redução do tempo de entrega. No armazenamento de produtos de petróleo, algumas dessas combinações são muito comuns e inerentes à própria natureza da operação, como por exemplo, a (transferência) do produto recebido por duto para envio por caminhão-tanque. A diferença em relação às operações de transbordo convencionais de mercadorias que ocorrem no transporte intermodal ou multimodal está no armazenamento intercalado do produto, entre duas fases do transporte. Existe vasto campo para estudo de parcerias entre operadores de diversos modais de transporte, capazes de proporcionar uma redução de custo logístico global, relativamente à logística de produtos de petróleo, como por exemplo, utilização de ferrovias ou hidrovias. A modelagem de simulação possui grande potencial de aplicação nesses casos.

4.5

O mercado e a projeção de demanda de produtos

O mercado é o potencial que existe para troca de bens, recursos e serviços entre pessoas, ou entre firmas, ou entre pessoas e firmas⁸⁰. Essas trocas ocorrem naturalmente, quando representam benefícios mútuos entre as partes envolvidas. As necessidades humanas são propulsoras e direcionadoras da atividade econômica e, conseqüentemente, do mercado. A cada uma dessas necessidades se pode intrinsecamente relacionar um mercado correspondente. Um mercado pode existir durante muito tempo, sem ser notado ou reconhecido, não existindo oferta nem demanda correspondente. Ou poderá um mercado vir a existir somente em períodos futuros. Quem consegue enxergá-lo e se antecipa à concorrência sai ganhando, por conseguir geralmente o melhor negócio. Mercados podem surgir

⁷⁹ No transporte **multimodal**, apenas um operador é responsável pelo transporte, utilizando um ou mais modais de transporte, e apenas um contrato (Conhecimento de Transporte Multimodal de Cargas) é firmado entre o embarcador e o operador (Operador de Transporte Multimodal – OTM), e rege toda a operação de transporte. No transporte **intermodal**, sucessivos contratos de transporte são firmados com mais de um operador, cada qual possuindo responsabilidade apenas durante a respectiva operação ou fase de transporte com ele contratada (ANTT, 2008).

⁸⁰ A troca pode ser realizada envolvendo moeda, caso mais comum, ou puramente entre bens, sem envolver moeda.

(ou desaparecer) naturalmente ou ser criados (ou eliminados), seja por inovação tecnológica⁸¹, ou por medidas legais e políticas, principalmente⁸².

Os mercados tendem a se equilibrar pela lei da oferta e da demanda⁸³. De acordo com LEFTWICH (1960, cap. I, pág. 1), no mercado, a diferença entre uma previsão correta e uma previsão incorreta da demanda dos consumidores significa a diferença entre lucro e prejuízo.

O conhecimento do mercado é fundamental, para o sucesso do negócio da empresa, o qual lida com esse mercado. Tratando-se nitidamente de uma variável de caráter estratégico (de acordo com a distinção proposta neste trabalho), é natural que esse conhecimento seja atribuição da área de planejamento da empresa, ou da área de *marketing*, assim como a geração de **previsões**, conforme ratificado por BALLOU (2004, cap. 8, pág. 241 e 249). O mesmo autor prevê, no entanto, que sob determinadas circunstâncias, principalmente no campo do planejamento de curto prazo, a responsabilidade seja atribuída aos profissionais da logística (como por exemplo, em controle de estoques e em programação dos transportes). Essas questões envolvem freqüentemente previsões de **demanda alocada** nos respectivos pontos da cadeia de suprimento^{84, 85}.

Tratando-se do problema de dimensionamento aqui estudado, normalmente se considera a demanda alocada na unidade de armazenamento como uma variável aleatória⁸⁶. As respectivas magnitudes das previsões de demanda são informadas pelo planejamento estratégico ou pelo *marketing*, além de algumas informações adicionais, estando todos os dados formulados para cada

⁸¹ O exemplo do mercado de álcool hidratado, renascido com o advento da tecnologia de automóveis movidos a mistura de álcool e gasolina em qualquer proporção (total-flex).

⁸² O mercado de álcool anidro, em mistura à gasolina e o mercado de biodiesel, em mistura ao diesel.

⁸³ Exclusivamente para os propósitos do presente trabalho, do ponto de vista prático, é sugerida uma distinção (ainda que imperfeita) entre **mercado** e **demanda**. Por mercado entenda-se a conjuntura de forças atuantes na economia (ou o potencial para isso), capazes de influir na tomada de decisão do consumidor, e portanto, na demanda. Entenda-se então a demanda como uma consequência da existência do mercado. Assim, havendo demanda, existe mercado correspondente. A recíproca nem sempre ocorre.

⁸⁴ As técnicas de previsão de demanda não serão objeto de discussão nesta dissertação.

⁸⁵ O uso de modelagem poderosa de programação linear e de fluxo em rede permite gerar uma solução otimizada na cadeia de suprimento da indústria petrolífera (na seção do *downstream*). Pode-se assim obter solução para a alocação de matéria-prima e programação de produção por unidade de produção do refino, as principais transferências, e a comercialização internacional, assim como para a matriz de demanda alocada de produtos nos respectivos pontos da cadeia de suprimento.

⁸⁶ Em certos estudos, dependendo da precisão requerida, podem ser utilizados valores determinísticos para a demanda.

ano de uma série plurianual. Após alguns ajustes, necessários para se chegar à demanda alocada na unidade de armazenamento em estudo, os números podem ser convertidos nas respectivas médias (mensais e diárias), para utilização como parâmetros para as distribuições de probabilidade utilizadas na simulação. Porém as estimativas de demanda formuladas geralmente não vêm acompanhadas das respectivas faixas de variação⁸⁷. O que pode ser resolvido na prática é a medida local dos valores de demanda, procurando-se obter a média e o desvio-padrão correspondente, parâmetros importantes de várias distribuições de probabilidade aplicáveis aos dados de entrada⁸⁸ do modelo da simulação. Quando não é possível essa medida, pode-se efetuar uma análise de sensibilidade da faixa de variação da demanda ou do desvio-padrão, sobre os resultados da simulação. BALLOU (2004, cap. 8, pág. 257-261) cita procedimentos úteis para geração de previsões de demanda de produtos em lançamento e produtos com demanda irregular, e para monitoramento do erro de previsão.

BALLOU (2004, cap. 8, pág. 242-244), classifica as previsões de demanda conforme as dimensões **temporal** e **espacial**. Na dimensão temporal, produtos que possuem demanda **regular** seguem três padrões distintos de comportamento. O primeiro, o padrão **estacionário** ou **nivelado**, se caracteriza por uma demanda cujas flutuações ocorrem em torno de um valor médio praticamente constante ao longo do tempo. O segundo é o padrão com **tendência**, isto é, a média das previsões apresenta uma taxa de variação (positiva ou negativa) ao longo do tempo. O terceiro é o padrão **sazonal**, caracterizado pelos **coeficientes sazonais**, números multiplicadores periódicos aplicados sobre a média das previsões. Há casos em que o padrão sazonal é aplicado às previsões em combinação com um dos outros dois padrões. Quanto à dimensão espacial, a qual pode ser aplicada independentemente da dimensão temporal, a literatura classifica as previsões em **agregadas** e **desagregadas** (CHOPRA *et* MEINDL, cap. 4, seção 4.2, pág. 69), sendo as previsões agregadas mais precisas (menor desvio-padrão em relação à média⁸⁹). Produtos cuja demanda é **irregular** não se enquadram nas classificações anteriores, sendo sua previsão de demanda um desafio, por não ser possível utilizar as técnicas comuns de previsão de demanda com resultados satisfatórios.

⁸⁷ A propagação de erros de previsão não monitorada adequadamente pode ser motivo de questionamento dos resultados apresentados pela modelagem.

⁸⁸ Conforme visto no capítulo 3, seção 3.1 § 2-7.

⁸⁹ A relação entre desvio-padrão e média é também denominada **coeficiente de variação**.

Sendo conhecidos os valores da demanda alocada na unidade de armazenamento em estudo, são determinadas as quantidades que deverão ser movimentadas dentro de cada período, também chamadas **metas** ou **quotas**. Assim, por exemplo, CHAN (2006, cap. 4, seções 4.3 e 4.4, pág. 22-23) utiliza os conceitos de **meta mensal (quota)**, para a quantidade a ser entregue ao cliente até o final do mês, ou **quota semanal**, no caso da quantidade a ser enviada por duto em determinados dias da semana, quando há cronogramas de bombeamento pré-definidos. BARBOSA *et. al* (2006, item 3) destacam a preferência pela representação da demanda no modelo através de distribuições de probabilidade obtidas pela análise das séries de retiradas em base semanal, método que permite obter um grau de normalização mais consistente, de grande utilidade na estimativa da variância.

No início de cada período, a quota diária⁹⁰ é calculada pela divisão da quantidade correspondente à meta pelo número de dias contido no período em questão. A quota diária corresponde a uma quantidade mínima permitida para viabilizar a movimentação de uma batelada de produto, de acordo com regras importantes. A retirada de produto realizada a cada dia poderá diferir da quota diária, gerando sucessivos acúmulos (positivos ou negativos), porém acúmulos elevados podem caracterizar a falta ou excedente de produtos (conforme será analisado nas próximas seções).

Cada produto apresenta um comportamento próprio das frequências das suas retiradas em função de cada dia da semana, caracterizado por dias de pico ou de baixa. Assim, na simulação da operação da unidade de armazenamento são utilizados novos fatores “sazonais” correspondentes a cada dia da semana, aplicados respectivamente, sobre a quota diária média que foi calculada para as retiradas do produto. Esses fatores são chamados **intra-semanais**. Eles são essencialmente diferentes daqueles fatores sazonais que caracterizam o padrão de comportamento de uma demanda regular, descrito anteriormente. Os fatores sazonais da demanda atestam um comportamento de natureza macroeconômica ou devido a influências climáticas e, de modo geral, já vêm embutidos nas estimativas de demanda oriundas do planejamento estratégico ou do *marketing*. Já os fatores intra-semanais não possuem essa natureza física ou macroeconômica, e

⁹⁰ Mais comumente chamada “quota-dia”.

sua aplicação apenas visa adaptar as retiradas simuladas a um esquema ou comportamento dependente dos dias da semana, que ocorre na prática⁹¹.

4.6

Elementos importantes na modelagem

Na simulação da operação de unidades de armazenamento, certos elementos devem ser considerados preliminarmente na modelagem do sistema. São em geral condições que podem originar restrições importantes a serem consideradas na simulação. A omissão desses detalhes poderá simplesmente resultar em um experimento (produzido pela simulação) grosseiramente afastado da realidade operacional do sistema em estudo e, conseqüentemente, em indicações equivocadas.

Terminais marítimos e hidroviários: A chegada de embarcações no terminal pode ser modelada conforme uma programação pré-definida ou como uma variável aleatória. A primeira opção geralmente é adotada quando se estuda o comportamento de um sistema para o qual o esquema de suprimento marítimo do terminal é bem conhecido, ou quando se deseja efetivamente avaliar o resultado dessa programação no dimensionamento da tancagem do terminal⁹². Nesse caso, a cada programação corresponderá um cenário respectivo. Já no segundo caso, a variável aleatória é utilizada quando não se dispõe de dados de suprimento do terminal, ou quando o terminal está em projeto. Ou ainda, quando se trata de chegadas de embarcações que retiram produto do terminal, caso em que é mais difícil adotar uma programação pré-definida de chegadas. Os parâmetros das distribuições de probabilidade das chegadas são determinados a partir de uma pré-análise do sistema, contando-se muitas vezes com o auxílio da experiência dos profissionais especialistas na logística do sistema que abrange a área específica do terminal em estudo. Se isso não for suficiente para permitir estimar os parâmetros da distribuição de chegadas das embarcações, pode-se recorrer a uma análise de

⁹¹ No APÊNDICE VI.2 se encontra um fluxograma que procura ilustrar como as informações pertinentes à demanda se propagam dentro do processo desde a sua concepção e formulação até a utilização na modelagem de simulação.

⁹² Modelar a rota e a origem do transporte marítimo é uma opção adicional, que exige modelagem mais elaborada. A idéia nesse caso é integrar no mesmo sistema uma fonte de produto situada em local remoto e a unidade de armazenamento.

sensibilidade sobre os valores desses parâmetros. BARBOSA *et al.* (2006, item 3) falam sobre essa necessidade de ajustes das distribuições de probabilidade, em função dos atrasos ou adiantamentos nos tempos de viagem, e de problemas climáticos, no caso do transporte marítimo.

A especificação de **calado**⁹³ máximo permitido define indiretamente uma restrição de capacidade máxima das embarcações que movimentam produtos no terminal. Essa restrição existe a fim de se mitigar o risco de uma embarcação vir a encalhar. Quanto **menor** a profundidade, **menor** o calado permitido. As capacidades podem estar também limitadas em função da disponibilidade dos vários tipos de embarcações nas linhas de suprimento marítimo ou hidroviário. Outras limitações físicas também são de grande importância, pois também podem inviabilizar capacidade de transporte acima de determinado volume. A inexistência de espaço para atracação ou manobra de navios de grande porte no píer do terminal é um exemplo⁹⁴. Com isso, ficarão definidos níveis de volume máximo para as bateladas de produtos supridos pelo transporte marítimo ou hidroviário ao terminal em estudo. O acesso de embarcações ao terminal pode ser dificultado (ou impedido) pela existência de acidentes geográficos (estuários de rios, canais de acesso, ilhas, pedras)⁹⁵ ou de construções (pontes, molhes, barragens, eclusas, etc). As restrições de manobras em consequência disso resultam em maior tempo necessário até o início da atracação da embarcação, após a chegada, sendo portanto relevantes na operação do terminal. As restrições de horário para atracação e desatracação podem existir em função do tipo de dispositivo de atracação disponível no terminal. Por exemplo, as monobóias em geral permitem atracação a qualquer hora do dia, enquanto que os quadros de bóias em alguns casos somente permitem essa operação em horário diurno⁹⁶.

⁹³ Expressão do transporte marítimo, que significa profundidade em que cada navio está submerso na água. Tecnicamente é a distância da lâmina d'água até a quilha do navio (TIGERLOG, 2008).

⁹⁴ Por exemplo, no Píer nº 1 do Terminal de Miramar, em Belém, somente atracam navios com porte máximo de 15.000 TPB (toneladas de porte bruto) e 140m de comprimento máximo, enquanto que no Píer nº 2 do mesmo terminal atracam somente navios com porte máximo de 45.000 TPB e 210m de comprimento máximo (TRANSPETRO – Terminal de Belém – Informações Portuárias – 2008, cap. 5, seção 5.4.3, pág. 26).

⁹⁵ Um exemplo é o Porto de Santos, cujo acesso é feito por um canal curvilíneo, de profundidade variável entre 6 a 12,8 metros, com inúmeras lajes e pedras submersas ou descobertas, e o casco de um navio afundado, além de profundidades inferiores a 2 metros, próximo às margens (TRANSPETRO – Terminal de Santos – Informações Portuárias – 2008, cap. 5, seção 5.3.2, pág. 15-16).

⁹⁶ No Terminal de Carmópolis em Aracaju-SE, por exemplo (TRANSPETRO – Terminal de Aracaju – Informações Portuárias – 2008, cap. 5, seção 5.3.8, pág. 22).

O serviço de transporte aquaviário é altamente influenciado pelas condições climáticas ou pelas marés. Assim, operações de atracação podem não ser possíveis durante períodos de mau tempo, ou estar limitadas em capacidade para navios-tanques em alguns terminais, durante certas estações do ano, devido às condições adversas do mar⁹⁷. Algumas vias aquáticas não podem ser utilizadas durante o inverno (rios e lagos ao norte dos EUA, por exemplo), ou durante períodos de seca (BALLOU, 2004, cap. 6, pág. 156).

Todos esses detalhes, e demais condições locais relevantes, acabam por limitar a disponibilidade operacional do terminal durante o ano, sendo necessário considerá-los, no modelo de simulação dos terminais marítimos e hidroviários. Logicamente não se pode ficar no impasse entre construir um modelo de simulação excessivamente detalhado (o que dificulta sua construção e a própria análise dos resultados) e omitir os detalhes relevantes na sua construção (arriscando a se afastar demasiadamente da representação do sistema real). Simplificações do modelo são possíveis, sem que haja perda de representatividade em relação ao sistema real. Por exemplo, pode-se buscar a consolidação de todos os intervalos de tempo desde a chegada da embarcação, gastos com o acesso ao terminal, manobras de atracação, amarração, conexão de mangotes na monobóia, etc. A aplicação dessas medidas simplificadoras fica mais fácil contando-se com a experiência de profissionais especialistas na logística do sistema, cuja participação permite diligenciar a construção do modelo nessa etapa, com esse intuito⁹⁸.

O número de instalações e dispositivos existentes no terminal (berços, linhas dutoviárias internas, bombas, tanques) deve ser conhecido, assim como as suas características respectivas que possam influir na operação (vazões de bombas, braços de carregamento nos berços, etc). Nas operações de recebimento de produtos pelo terminal, a vazão das bombas dos navios-tanque é que determina o tempo necessário. No carregamento de navios-tanque, o tempo necessário é determinado pela vazão das bombas do terminal. Em alguns terminais, a vazão de

⁹⁷ No Terminal de Carmópolis em Aracaju-SE, durante o inverno, recomenda-se operar com navios de porte de 65000 TPB, no máximo (TRANSPETRO – Terminal de Aracaju – Informações Portuárias – 2008, cap. 5, seção 5.3.8, pág. 22).

⁹⁸ CHAN (2006, cap. 6, seção 6.4, pág. 52) ilustra esse aspecto, e as dificuldades encontradas na simplificação da modelagem de simulação para aplicação nos seus estudos de caso, destacando a necessidade de limitar a modelagem às operações essenciais do sistema.

bombeamento depende da densidade do produto movimentado, sendo a vazão **maior**, quanto **menor** for a densidade^{99,100}.

Dutos: No dimensionamento de unidades de armazenamento servidas por modal dutoviário¹⁰¹ é necessário considerar a integração com a cadeia de suprimento. Este é um exemplo bastante ilustrativo daquilo que foi exposto anteriormente nesta dissertação¹⁰², sobre a necessidade de se considerar aspectos de otimização da cadeia de suprimento à qual a unidade pertence. A razão da repetição feita aqui repousa em um interessante detalhe: a importância (e a vantagem) de se trabalhar com uma empresa **verticalizada (integrada)** na cadeia de suprimento, quando aparecem estudos de dimensionamento do tipo caracterizado acima. De saída, a demanda alocada na unidade de armazenamento (ou o seu fluxo de abastecimento) já deverá estar prevista segundo o planejamento estratégico da empresa, mediante aplicação da metodologia de otimização para a cadeia de suprimento como um todo, incluindo o atendimento ao mercado na área de influência da unidade logística em estudo. Isso é muito mais fácil e confiável do que conduzir o estudo utilizando uma estimativa da movimentação com base apenas na previsão de demanda local, já que a previsão do fluxo de entrada alocado na unidade, contendo o horizonte do longo prazo, não estará disponível para uma empresa externa, assim como a previsão de demanda alocada otimizada, segundo o planejamento estratégico.

CHAN (2006, cap. 4, seção 4.5, pág. 24) destaca os limites de volume mínimo e máximo da batelada de produto que deve ser bombeada pelo duto. O limite mínimo existe por que, abaixo dele, a perda por contaminação passa a ser significativa em relação ao volume total da batelada¹⁰³. O limite superior corresponde à capacidade das bombas de envio do duto. Cita também a

⁹⁹ No Terminal de Carmópolis em Aracaju-SE, a vazão de envio para os navios-tanque é 2800 m³/h, para produtos de grau API menor ou igual a 35, e 3300 m³/h, para produtos de grau API acima de 35 (TRANSPETRO – Terminal de Aracaju – Informações Portuárias – 2008, cap. 7, seção 7.5, pág. 34).

¹⁰⁰ No APÊNDICE VI.1 o fluxograma intitulado “ELEMENTOS IMPORTANTES NA MODELAGEM – TERMINAIS MARÍTIMOS E HIDROVIÁRIOS” auxilia na tarefa de configuração das rotas de origem e destino, capacidades, intervalos de chegadas e tempos de acesso das embarcações ao terminal, bem como do recebimento e envio de produtos.

¹⁰¹ Seja para recebimento ou para expedição de produtos.

¹⁰² CAPÍTULO 2, seção 2.5, § 5-7.

¹⁰³ Essa perda ocorre geralmente pela geração de mistura residual na interface entre duas bateladas de produtos diferentes em contato dentro da tubulação, durante o bombeamento.

necessidade de verificação da disponibilidade física do duto antes de cada operação de envio, em função da manutenção programada. Dutos de grande extensão estão permanentemente retendo grande volume de produto na sua tubulação, ou seja, estoque imobilizado, gerando custo correspondente. As vazões entre a origem e uma estação intermediária e entre esta estação e o destino do produto bombeado pelo duto podem ser diferentes.

Operações terrestres: A programação de movimentação de produtos através dos diversos modais é crucial no dimensionamento da capacidade de armazenamento de terminais e Bases de Distribuição. No horizonte do curto prazo, a programação diária, semanal, ou mensal é atribuição da logística operacional. No horizonte de médio e longo prazo, cabe ao planejamento estratégico formular as estimativas dos volumes de cada produto a serem movimentados pelos diversos modais de transporte, em base plurianual¹⁰⁴. No caso de se considerar o transporte ferroviário para abastecimento ou retirada de produtos do terminal ou da Base de distribuição, a operação de transbordo ferroviário aparece como item relevante na simulação, por elevar consideravelmente o **tempo de reposição**¹⁰⁵ (BALLOU, 2004, cap 6, pág 180-181). O tempo extra padrão de carga ou descarga ferroviária é de 48h, em média, segundo o autor acima citado.

Estoque em trânsito: O estoque que permanece retido nos veículos de transporte durante sua entrega requer coordenação precisa com a escolha do modal de transporte (BALLOU, 1993, cap. 8, pág. 167). Essa medida permite a seleção prévia dos modais de transporte, por parte dos especialistas na cadeia de suprimento, com base nos diferentes tempos de trânsito, visando reduzir consideravelmente a necessidade de armazenamento em tanque, supondo que o volume correspondente em trânsito estará disponível algum tempo depois. Ou, por outro lado, pode-se decidir pela escolha do modal que minimiza a quantidade (média) imobilizada por intervalo de tempo, reduzindo os custos correspondentes.

¹⁰⁴ No caso da PETROBRAS, as principais movimentações previstas no planejamento estratégico são através de dutos e por navio-tanque.

¹⁰⁵ Tempo decorrido entre a constatação da necessidade da emissão de uma ordem e a disponibilidade dos produtos necessitados, e que compreende os tempos de preparação, permanência em filas, processamento, movimentação, transporte, recebimento e inspeção (TIGERLOG, 2008).

Escolha dos modais de transporte – Além dos fatores relevantes descritos no parágrafo anterior, para a escolha dos modais de transporte, e das combinações seqüenciais de modais mais adequadas, para configuração no modelo de simulação, resta considerar ainda fatores de custo, variabilidade do tempo em trânsito e perdas (BALLOU, 2004, cap. 6 pág. 151). Geralmente o fator custo se traduz por uma composição de tarifas e fretes, permitindo a comparação e a seleção prévia daquela que apresenta o menor valor total desde a origem até o destino (BALLOU, 2004, cap. 6 pág. 152). A variabilidade do tempo de trânsito pode ser incorporada ao modelo, representada pela respectiva variância do tempo de trânsito, sendo este modelado como uma variável aleatória. Já as perdas não são de fácil representação no modelo de simulação, com relação à movimentação de produtos de petróleo e biocombustíveis. Sendo assim, parece mais sensato quantificá-las como premissas da operação do sistema (por meio de taxas fixas), novamente contando com a experiência de profissionais especialistas na logística operacional do mesmo¹⁰⁶.

Na modelagem de simulação de um sistema de abastecimento em projeto, muitas vezes os modais de transporte de produtos a ser utilizados já vêm definidos, sejam eles já existentes ou parte do projeto em estudo. Por exemplo, projetos de abastecimento de Bases por meio dutoviário ou projetos de construção de terminais marítimos ou hidroviários automaticamente definem os seus principais modais de transporte de produtos. Dependendo da complexidade do sistema em estudo, entretanto, é possível que haja mais de um modal disponível, assim como as suas possíveis combinações seqüenciais, para abastecimento de uma unidade de armazenamento. Nesse caso, as diferentes opções correspondem a variantes ou cenários distintos, respectivamente¹⁰⁷.

¹⁰⁶ Um exemplo que caracteriza bem o fator perdas é a geração de mistura residual na interface entre duas bateladas de produtos diferentes na linha dutoviária (rever texto nesta seção sobre dutos).

¹⁰⁷ No APÊNDICE VI.1 o fluxograma intitulado “ELEMENTOS IMPORTANTES NA MODELAGEM – ESCOLHA DOS MODAIS DE TRANSPORTE” auxilia na tarefa de configuração das combinações seqüenciais de modais de transporte de um sistema de abastecimento, dentro do contexto da cadeia de suprimento.

4.7

As regras fundamentais

Na modelagem da simulação da operação de unidades de armazenamento, além dos elementos acima descritos, devem ser consideradas algumas **regras** preliminares para direcionar a lógica de execução do modelo do sistema. As regras existem para imitar as condições operacionais de um sistema real, no que se refere às tomadas de decisão automáticas embutidas no modelo, principalmente aquelas que dependem de fatores externos. Nesse último caso, as regras seguirão algumas premissas. A omissão dessas regras poderá resultar em um experimento (produzido pela simulação) afastado da realidade operacional do sistema em estudo, bem como no aparecimento de indicações (operacionais ou econômicas) equivocadas¹⁰⁸.

Regras da gestão de estoques: A política de estoques muitas vezes é relevante no estudo de dimensionamento das unidades de armazenamento. Políticas de estoque se traduzem por formas de se administrar os estoques¹⁰⁹, indicando **quando** e **quanto** encomendar, e também por **abordagens de otimização**, que consistem em se definir o custo relevante total e seus componentes, procurando sua minimização, ou em se quantificar previamente qual é o **nível de serviço**¹¹⁰ indicado para oferecer aos clientes (usuários) do sistema. Estudos de simulação da operação de unidades de armazenamento que omitem elementos sobre política de estoques podem perder credibilidade, principalmente quando são solicitados pelas gerências superiores da empresa. Pode acontecer que se deseje, efetivamente, avaliar o resultado da aplicação de uma ou de outra política de estoques, utilizando a simulação, no contexto do estudo de dimensionamento da unidade de armazenamento. Essas políticas de estoque pressupõem a criação de regras de gestão de estoques a serem aplicadas de modo independente para cada produto, no modelo de simulação. Dependendo do grau de complexidade, o modelo poderá

¹⁰⁸ No APÊNDICE VI.1 o fluxograma intitulado “REGRAS FUNDAMENTAIS – HIERARQUIA DAS REGRAS” auxilia na tarefa de configuração das regras fundamentais segundo uma ordem de prioridade de aplicação proposta, em função da existência de interação logística entre os produtos. A ordem de aplicação poderá mudar, de acordo com o julgamento dos programadores, conforme os casos específicos.

¹⁰⁹ Também conhecidas como “tipos de sistemas, ou métodos de controle”.

¹¹⁰ Definido na seção 4.9.

possuir um algoritmo para satisfazer a aplicação dessas regras, ou poderá simplesmente aplicá-las como premissas.

De acordo com BALLOU (2004, cap. 9 pág. 280-287) há duas filosofias fundamentais de gestão de estoques, a saber: estoques **empurrados**; e estoques **puxados**. A primeira consiste em alocar a produção nos pontos de armazenagem da cadeia de suprimento, com base nas respectivas previsões de demanda. A segunda consiste em manter apenas estoque em quantidade suficiente para atender à demanda local de curto prazo, condicionando a taxa de produção indiretamente à necessidade de reposição desses estoques, em tempo mínimo. Para unidades de armazenamento de produtos de petróleo e biocombustíveis, a filosofia de controle **avançado** de estoques puxados geralmente é a indicada¹¹¹, em face da incerteza associada às variáveis aleatórias demanda e tempo de reposição do produto. Para aplicação do controle avançado de estoques puxados, são classificados dois métodos de controle: por **ponto de pedido** e por **revisão periódica**¹¹².

Conforme o método do ponto de pedido, o estoque é consumido até se igualar (ou ficar abaixo) de um determinado nível, que corresponde ao **ponto de pedido (reposição)**, fazendo-se uma encomenda de volume (lote) constante, nesse momento. O método de controle já define uma regra aplicável à modelagem de simulação da operação de abastecimento da unidade de armazenamento. Simulações podem ser conduzidas de modo que o ponto de pedido esteja algum percentual acima do nível (pré-definido) do estoque de segurança, sendo possível assim, a criação de diferentes cenários correspondentes a diferentes pontos de pedido, para análise.

FREITAS *et al.* (2006, item 3, pág.6) citam que as melhores práticas relatadas em casos de logística indicam o emprego de métodos analíticos para estimar o estoque de segurança em função de duas variáveis aleatórias principais: o tempo de reposição e a demanda no período¹¹³. Os mesmos autores citam também o emprego da simulação por eventos discretos, que permite avaliar o

¹¹¹ No caso de centros coletores ou Bases de distribuição para acumular a produção de produtos biocombustíveis, as filosofias puxadas não se aplicam, já que, nesses casos, a função da unidade de armazenamento não é o atendimento da demanda diretamente, e sim a consolidação de estoque do produto em escala de granel.

¹¹² Há também possibilidade de controle com base em uma combinação dos dois métodos.

¹¹³ Para a determinação analítica do estoque de segurança, BALLOU (2004, cap 9, pág 290) cita fórmulas de cálculo em função dessas duas variáveis.

desempenho do sistema submetido a condições de operação representativas da realidade, e a determinação do estoque de segurança.

Em alguns modelos de simulação, estoque e espaço de segurança são parâmetros de entrada e, portanto, podem assumir diferentes valores previamente fixados para cada cenário a ser testado na simulação. A expressão desses dois parâmetros em **dias de estoque** (em relação à demanda alocada na unidade de armazenamento) pode ser empregada com a vantagem de facilitar a entrada de dados e o planejamento de experimentos na simulação. A conversão desses parâmetros nos volumes correspondentes é automaticamente efetuada pelo modelo, para aplicação na simulação¹¹⁴.

Na aplicação do método da revisão periódica do estoque (BALLOU 2004, cap. 9 pág. 292-293), não há necessidade de se monitorar freqüentemente o nível de estoque, pois as suas revisões já estão programadas. Na ocasião da revisão, o volume do lote de reposição do produto é calculado de modo a completar um nível pré-determinado em tanque¹¹⁵. Embora esse método exija um nível de estoques maior, os custos de manutenção de estoques podem ser compensados pelas economias na aquisição e no transporte de produtos, mediante um planejamento eficiente dos pedidos.

Na abordagem da otimização, por sua vez, o custo relevante total pode ser definido como a soma de vários componentes¹¹⁶, cujos valores dependerão do comportamento das variáveis e indicadores relevantes, que serão descritos adiante.

Prioridade de entrada e saída de produtos: Nos modelos de simulação de mais de um produto, é possível que haja chegadas concomitantes de lotes de produtos diferentes. Haverá necessidade de se eliminar o impasse na escolha de qual deles entrará primeiro no parque de armazenamento. Um exemplo que caracteriza essa situação é o caso de uma linha dutoviária de transferência compartilhada, para recebimento de produtos claros num terminal marítimo ou hidroviário, no qual acabou de atracar uma embarcação trazendo dois produtos diferentes, em tanques

¹¹⁴ Se a demanda alocada for definida como uma variável aleatória, essa conversão deverá ser efetuada multiplicando-se o valor do parâmetro pelo número de demanda, cada vez que este for gerado a partir da distribuição de probabilidade da demanda.

¹¹⁵ No APÊNDICE VI.1 o fluxograma intitulado “REGRAS FUNDAMENTAIS – GESTÃO DE ESTOQUES” propõe, de forma simplificada, a aplicação das regras de gestão de estoques no modelo, segundo a filosofia e o sistema de controle.

¹¹⁶ Detalhados na seção 4.10.

segregados. Se o terminal dispõe de apenas uma linha desse tipo, qual produto descarregará primeiro? Questão semelhante surgirá se a embarcação for retirar os dois produtos do terminal, para transportá-los em seus tanques segregados.

A correspondente regra de prioridade a ser criada no modelo dependerá de cada caso particular. Por exemplo, certos terminais de abastecimento são construídos estrategicamente próximos a aeroportos, para abastecimento de querosene de aviação, que é o combustível para aeronaves¹¹⁷. Se houver necessidade de se compartilhar uma linha dutoviária interna para carregamento ou expedição de produtos concorrentes, certamente a prioridade será concedida à movimentação do querosene de aviação.

Prioridade para atendimento de determinado mercado: Alguns mercados têm prioridade de atendimento de sua demanda em relação a outros. Essas são diretrizes geralmente vindas da área de logística operacional ou da área de *marketing*¹¹⁸. CHAN (2006, cap. 4, seção 4.6, pág. 24-25) destaca a prioridade do atendimento do mercado de gasolina das Bases de Distribuição de Guaramirim, Itajaí e Biguaçu, localizadas no Estado de Santa Catarina, através do bombeamento pelo duto Araucária-Santa Catarina (OPASC). Essa regra está embutida na programação do modelo de simulação do sistema específico, no correspondente estudo.

Prioridade para armazenagem de produto: Essa regra existe para dirimir a questão sobre qual produto terá prioridade para ser armazenado, quando houver limitação para o número ou capacidade de tanques que podem ser utilizados na unidade de armazenamento.

Prioridade para modal de entrada e saída: A chegada concomitante de mais de uma batelada, do mesmo produto ou de produtos distintos, através de modais de transporte diferentes é outra questão que poderá surgir nas modelagens de simulação de mais de um produto (com interação logística entre eles). Regras poderão também existir para estabelecer a prioridade entre os modais de **saída** de produtos. Uma regra, geralmente aceita, estabelece que o transporte marítimo

¹¹⁷ O terminal de Guarulhos-SP, por exemplo.

¹¹⁸ Diretrizes do planejamento estratégico, de caráter mais geral, podem também existir.

ganha a prioridade de movimentação nesses casos, a fim de se evitar a sobre-estadia de navios-tanque, que por sua vez gera custos elevados. A reprogramação de bombeamento por duto pode também ser onerosa para o sistema¹¹⁹, o que também eleva a prioridade de movimentação para o modal dutoviário.

Escolha de tanque: Essa regra é necessária para a simulação da operação quando há intercâmbio de tanques para armazenamento de diferentes produtos, selecionando, para cada um dos tanques disponíveis, qual produto será nele armazenado. Alguns produtos só podem ser armazenados em certos tipos de tanque, em função de suas propriedades, conforme foi explicado anteriormente¹²⁰, ensejando a criação de regras paralelas para as restrições do intercâmbio de tanques, nesses casos.

Disponibilidade de tanque: O recebimento de produto em tanque pode não ser imediato, dependendo de certas condições que regulamentem a mistura, quando já existe produto armazenado no mesmo. Por exemplo, se a quantidade armazenada estiver destinada a atender em breve a uma série de pedidos dos clientes, e já estiver especificada quanto à qualidade do produto (certificada), pode não ser aconselhável misturá-la com uma nova batelada de produto no tanque, correndo-se o risco de tirar da especificação o volume total do produto no tanque. Se, no entanto, esse volume estiver apenas compondo um nível de estoque, e o produto para atendimento imediato da demanda estiver em um segundo tanque, então pode-se considerar o primeiro tanque disponível para receber produto. Regras desse tipo podem ser criadas para disciplinar o envio e recebimento de produtos, tornando a simulação do sistema mais próxima da operação real, embora à custa de trabalho de modelagem maior.

O limite da criatividade para a construção de modelos não é conhecido. Sendo assim, regras podem ser criadas para simular a disponibilidade de tanques para armazenar produtos de modo tão próximo da realidade operacional quanto possível, para permitir avaliar com grande precisão a possibilidade de gargalos nos sistemas de alinhamento, nas trocas de tanques, etc.

¹¹⁹ Geralmente essa programação vem integrada com as diretrizes do planejamento estratégico, no longo prazo, ou otimizada pela equipe responsável pela programação operacional da logística, no curto prazo.

¹²⁰ Rever seção 4.2

Flexibilidade de variação de número de tanques: Essas regras são necessárias para a simulação do intercâmbio de tanques para armazenamento de diferentes produtos (tal como as regras de escolha de tanque). Elas também são necessárias em modelos em que é possível construir cenários variando o número de tanques para cada produto (mesmo que o modelo seja de apenas um produto).

Flexibilidade de troca intermodal: - Um importante princípio do transporte de granéis (BALLOU, 1993, cap. 9, pág. 193-194) recomenda transportar a máxima quantidade de produto até o ponto mais distante possível no canal de distribuição antes de fracioná-lo para a distribuição final. Com base nesse princípio, podem ser criadas regras para permitir a flexibilidade da troca de modal de transporte nas operações de abastecimento de uma unidade de armazenamento. Na tabela 4.7.1 encontram-se marcadas com 'x' as operações normalmente permitidas. Assim, observa-se que os modais de transporte marítimo e dutoviário, por movimentarem grandes volumes, podem efetuar a troca intermodal com todos os outros tipos de modais de transporte. Por outro lado, o modal rodoviário normalmente não é utilizado para recebimento e expedição por outros modais (contraria o princípio acima citado). É claro que poderá haver exceções aplicáveis à tabela abaixo, dependendo de algum caso particular de modelo de um sistema logístico¹²¹.

Tabela 4.7.1: Trocas de modal normalmente viáveis na movimentação de granéis

EXPEDIÇÃO► RECEBIMENTO▼	DUTOVIÁRIO	FERROVIÁRIO	HIDROVIÁRIO	MARÍTIMO	RODOVIÁRIO
DUTOVIÁRIO	X	X	X	X	X
FERROVIÁRIO		X	X		X
HIDROVIÁRIO		X	X	X	X
MARÍTIMO	X	X	X	X	X
RODOVIÁRIO					X

FONTE: Consulta a especialistas da TRANSPETRO

Fungibilidade: De acordo com esse princípio, diferentes bateladas de um mesmo produto podem ser misturadas em tanque, desde que estejam dentro da especificação de qualidade (TRANSPETRO - Condições Gerais de Serviço, 2006, itens 3.11 e 7). Regras mais rigorosas de fungibilidade podem vedar a operação de

¹²¹ A Tabela 4.7.1, por exemplo, serve para a logística de produtos de petróleo. Já os produtos biocombustíveis seguem outras regras de flexibilidade de troca intermodal, considerando a sua trajetória logística a partir das fontes primárias localizadas no interior (conforme seção 4.2).

mistura acima descrita, quando as bateladas são de propriedade de clientes diferentes, ou mesmo entre duas bateladas distintas, de propriedade de um mesmo cliente.

Possibilidade de degradação de produtos: A degradação é a operação que se caracteriza pela transferência de volume de um produto para mistura com outro produto de especificação inferior (ou mesmo sem especificação). A degradação pode ser realizada deliberadamente, por várias razões, de natureza operacional (para evitar gargalos, por exemplo), ou comercial (para evitar falta de outro produto), mas também podem ocorrer degradações de produto de modo natural e inevitável, internamente às operações normais do sistema¹²². Na simulação da operação das unidades de armazenamento, a degradação de produtos muitas vezes faz parte da modelagem. A degradação pode ser empregada como último recurso para desvio de uma quantidade de produto excedente, para evitar o acúmulo de produto em tanque além dos limites operacionais. Por outro lado, a degradação pode também ser empregada para cobrir falta do produto dela resultante, na unidade de armazenamento. Os produtos que sofrem a degradação são essencialmente mais nobres, ou possuem especificações de qualidade superiores e mais rígidas e, portanto, preço maior do que o do produto resultante da degradação¹²³. Assim, degradação gera custo correspondente a perda de qualidade do produto resultante, em relação ao produto original, sendo traduzida, em geral, pela diferença de receita de venda entre os dois produtos, correspondente à parcela de volume de produto degradado. Na tabela 4.7.2 constam algumas operações de degradação possíveis para os principais produtos de petróleo e para o álcool. A degradação **integral** do produto, gerando resíduo para posterior re-processamento nas unidades do refino também é possível¹²⁴. Por ser opcional a degradação empregada para minimizar falta ou excesso de produtos para entrega na unidade de armazenamento, a decisão quanto à vantagem econômica dessa operação depende do preço de cada produto e dos valores de outros parâmetros econômico-

¹²² A geração da mistura na interface entre duas bateladas de produto em dutos (seção 4.6 §8) é um exemplo.

¹²³ A simples entrega de volume de um produto mais nobre para abastecer o mercado de um produto de especificação inferior, sem que haja necessidade de mistura no tanque do produto menos nobre, já caracteriza uma operação de degradação, logística e economicamente equivalente à degradação física do produto.

¹²⁴ Condicionada à existência de capacidade de armazenamento desse resíduo, na unidade.

financeiros do modelo. Portanto, além das regras que definem as operações de degradação permitidas na unidade de armazenamento, regras complementares de decisão deverão ser criadas para avaliar a vantagem econômica de cada operação de degradação conforme o propósito ao qual essa degradação serve. Os principais objetivos são a redução dos custos de falta ou excesso de produto, e de sobreestadia dos veículos de transporte utilizados nos vários modais¹²⁵.

Tabela 4.7.2: Degradações de produtos em unidades de armazenamento

DEGRADA PARA ► DEGRADA DE ▼	GASOLINA A	GASOLINA C	ÁLCOOL HIDRATADO	DIESEL ATE	DIESEL BTE	ÓLEO COMBUSTÍVEL ATE	ÓLEO COMBUSTÍVEL BTE
GLP	X ⁽¹⁾	X ^(1, 2)					
NAFTA PETROQUÍMICA	X ⁽³⁾	X ^(2, 3)		X ⁽⁶⁾			
GASOLINA A		X ^(2, 4)		X ⁽⁶⁾			
ÁLCOOL ANIDRO		X ^(2, 5)	X				
QUEROSENE DE AVIAÇÃO				X	X		
DIESEL ATE						X	X
DIESEL BTE				X		X	X
ÓLEO COMBUSTÍVEL BTE						X	

Base de distribuição normalmente não faz degradação

- (1) Valor da gasolina superior no mercado (2008). A proporção de GLP a degradar é limitada pela pressão de vapor da gasolina resultante da degradação.
- (2) Somente se existir armazenagem da gasolina C na unidade.
- (3) Valor da gasolina superior no mercado (2008). A proporção de nafta petroquímica a degradar é limitada pela especificação da gasolina resultante da degradação.
- (4) A proporção de gasolina a degradar é limitada pelo teor de álcool e octanagem da gasolina C resultante da degradação.
- (5) A proporção de álcool anidro a degradar é limitada pelo teor de álcool da gasolina C resultante da degradação.
- (6) A proporção de nafta petroquímica ou gasolina a degradar é limitada pela especificação de ponto de fulgor do diesel resultante da degradação.

FONTE: Consulta a especialista da área de TECNOLOGIA DE REFINO/TRANSFERENCIA E ESTOCAGEM da PETROBRAS.

Bateladas de produtos adjacentes permitidas: Para sistemas que operam com transferência dutoviária de mais de um produto na mesma linha, existem regras que limitam as combinações de dois produtos permitidas em bateladas adjacentes. Isto se deve à formação de mistura na interface entre as duas bateladas de produtos. Essa mistura poderá ser aproveitada em uma das bateladas, ou deverá ser separada. As regras variam conforme a infra-estrutura operacional do sistema, e em função das características e especificações de cada produto. Assim, por exemplo, uma interface entre dois produtos selecionados (gasolina e nafta petroquímica, por exemplo), permitida em um duto, poderá não o ser no duto de

¹²⁵ No APÊNDICE V encontra-se a formulação matemática da determinação da viabilidade econômica da degradação correspondente a cada um dos propósitos citados.

outro sistema de abastecimento. A Tabela 4.7.3 abaixo, por exemplo, define quais produtos podem formar bateladas adjacentes no duto de abastecimento de terminais de produtos de petróleo e álcool de determinada região, indicando qual produto poderá receber a mistura de interface que for gerada no bombeamento. Regras mais específicas podem ser necessárias, conforme a orientação de especialistas na logística operacional do sistema em estudo.

Tabela 4.7.3: Interfaces de produtos claros em duto

INTERFACE	ÁLCOOL HIDRATADO	GLP	NAFTA PETROQUÍMICA	GASOLINA	QUEROSENE DE ILUMINAÇÃO	DIESEL ATE	DIESEL BTE
ÁLCOOL ANIDRO	↑	X	X	←	X	X	X
ÁLCOOL HIDRATADO		X	←	←	X	X	X
GLP			+	+	X	X	X
NAFTA PETROQUÍMICA				↑	X	↑	X
GASOLINA					X	↑	X
QUEROSENE DE AVIAÇÃO					↑	↑	X
QUEROSENE DE ILUMINAÇÃO						↑	X
DIESEL ATE							←

↑ ou ← com limitações para a qualidade do produto receptor

+ para vaso de separação da interface

X interface não recomendada

Extraído do documento técnico interno PE-3N8-00254-B - TRANSPETRO

4.8

Etapas críticas e subprocessos

Na seção 4.6 dissemos que certos elementos devem ser considerados preliminarmente na modelagem do sistema, pois traduzem restrições importantes a serem consideradas na simulação. Nesta seção descrevemos as etapas correspondentes a alguns deles. O conhecimento dessas etapas é importante, não somente para os profissionais responsáveis pela construção do modelo, mas

também para aqueles que analisam os resultados. Acredita-se que tal conhecimento permite um diagnóstico mais rápido, pois dentro de uma etapa crítica poderá estar sendo gerado, por exemplo, um gargalo no sistema que está sendo simulado. Situações desse tipo podem aparecer como combinações de fatores intrínsecas do modelo, e que só entram em ação durante o processo da simulação, sendo difícil a sua percepção conhecendo-se apenas as restrições preliminares do sistema.

Ciclo normal de estoque no tanque: A operação normal de armazenamento de um tanque compreende alguns subprocessos característicos em seqüência. Eles consistem em recebimento de produto em tanque, repouso do produto em tanque, certificação do produto armazenado¹²⁶, e envio de produto armazenado em tanque (Fig. 4.8.1). Alguns deles podem se repetir dentro de um ciclo (giro de estoque), ou se suceder em ordem trocada, porém uma certificação do volume estocado deverá ser realizada sempre após o recebimento de uma batelada de produto em tanque.

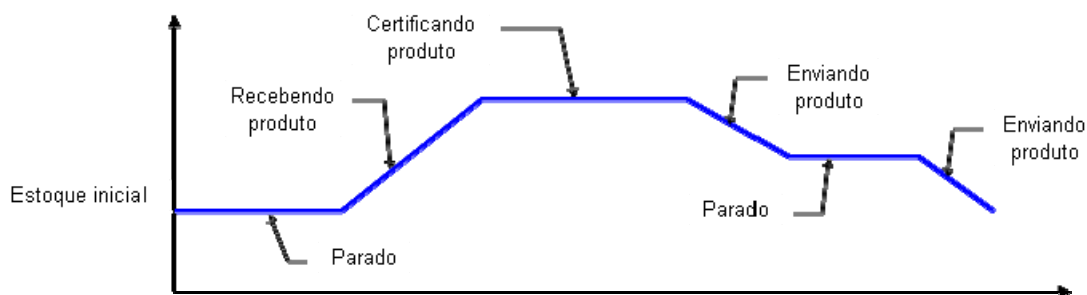


Figura 4.8.1: Etapas de um giro de estoque em um tanque

A modelagem consistirá basicamente na associação de um intervalo de duração para cada um desses subprocessos, com base em dados operacionais. O nível de detalhamento dependerá da precisão desejada na saída dos resultados do modelo do sistema estudado.

Passagem de tanques pressurizados para refrigerados e vice-versa: A armazenagem e transferência de produtos leves de petróleo requerem a liquefação

¹²⁶ Processo de verificação do enquadramento do produto conforme as especificações de qualidade, por uma amostragem e análise da amostra do produto em laboratório.

desses produtos. Para isto podem ser empregados a pressurização ou o resfriamento, em tanques apropriados. Quando existem tanques refrigerados, geralmente é necessário um **tempo adicional** para transferência de produto desses tanques para os tanques pressurizados¹²⁷, ou vice-versa. Isto por que os procedimentos padronizados de segurança exigem uma série de subprocessos (operações intermediárias) no terminal: redução de pressão em receptáculos intermediários; abertura de válvulas específicas; controle do gradiente de temperatura entre os receptáculos de origem e destino, quando já existe produto armazenado em tanque refrigerado¹²⁸ (Padrão da TRANSPETRO PE-3N7-01224-B); ou na operação de transferência de produto dos tanques refrigerados para navios-tanque e para circulação dos tanques, com resfriamento do equipamento dentro de um período estabelecido (Padrão da TRANSPETRO PE-3N7-01211-C); ou ainda, para permitir a transferência de produto dos tanques refrigerados, e estar com alinhamento pronto antes da atracação do navio, evitando interferências com outros alinhamentos (Padrão da TRANSPETRO PE-3N7-02239-A). Estando esses subprocessos previstos na modelagem da simulação da operação do parque de armazenamento (ao menos quanto à sua duração), teremos uma fonte provável de gargalo (embora imprescindível) no modelo do sistema em estudo.

A etapa de transferência de produto entre tanques pressurizados e refrigerados merece destaque, por ser de complexidade suficiente para gerar aumento significativo do *lead-time* das operações de abastecimento que utilizam esses dois tipos de tanque¹²⁹.

Condições para manobras em áreas críticas: Na seção 4.6 citamos as limitações de capacidade e restrições de manobra ou operação de embarcações em canais de acesso, estuários de rios, e áreas influenciadas pelo clima e pelas condições meteorológicas adversas. É indispensável o conhecimento da existência de

¹²⁷ Tratando-se do gás liquefeito de petróleo (GLP), por exemplo, normalmente o transporte marítimo é realizado em navios-tanque contendo tanques esféricos pressurizados.

¹²⁸ Conforme o padrão de execução adotado pela TRANSPETRO (PE-3N7-01224-B), por exemplo, a despressurização de dois receptáculos é feita através de uma válvula de controle de fluxo para os tanques refrigerados. A operação é controlada por supervisor, obedecendo ao gradiente de temperatura máximo de 10°C/h quando há produto refrigerado nos receptáculos de destino. Tal procedimento visa impedir a ocorrência de um fenômeno perigoso conhecido como *roll-over*, vaporização instantânea de um gás liquefeito armazenado em tanques refrigerados, que possui diferentes densidades, causado por sua composição ou temperaturas diferentes.

¹²⁹ Estando incluídos o recebimento de, ou envio de produto para navios-tanque refrigerados ou pressurizados.

manobras nessas áreas críticas como subprocessos do modelo de simulação, no diagnóstico do sistema em estudo, por serem essas áreas potencialmente geradoras de gargalo no sistema.

Tempo envolvido na liberação da operação por autoridades portuárias e alfandegárias: Com a chegada de uma carga de produto importado nos terminais, inicia-se a etapa de liberação alfandegária dessa carga. Trata-se de um processo administrativo que, no Brasil, compreende os passos seguintes (LEAL *et* VASCONCELLOS, 2006):

- Elaboração da Declaração de Importação (DI) pelo importador ou despachante aduaneiro, com base no Licenciamento de Importação (ou Licenciamento Não-automático), Conhecimento de Embarque e Fatura Comercial;
- Pagamento do imposto de importação e outros tributos e taxas, seguido de comprovação;
- Registro da importação no SISCOMEX (Sistema Integrado de Comércio Exterior);
- Apresentação do extrato da DI ao despachante aduaneiro, para conclusão do Despacho Aduaneiro (conferência pelo fiscal, identificação do importador, etc), cuja finalidade é o desembaraço aduaneiro (autorização da liberação do produto importado);
- Emissão do Comprovante de Importação pela Receita Federal no SISCOMEX.

Os procedimentos de elaboração dos documentos e registros e pagamento de impostos podem ser considerados como subprocessos administrativos, efetuados paralelamente à operação logística envolvida, não necessitando de representação no modelo do sistema, em princípio. Já o desembaraço aduaneiro requer a presença do produto em tanques do terminal, demandando um intervalo de tempo para os serviços locais do despachante e fiscal aduaneiros, necessários à liberação do produto para posterior movimentação no terminal. Conseqüentemente, dependendo da magnitude desse intervalo de tempo, poderá haver contribuição para a formação de gargalo no sistema em estudo.

Procedimentos operacionais para preservação da qualidade de produtos: Os procedimentos seguintes podem requerer tempo adicional:

- Análises prévias de bateladas individuais de álcool em cada caminhão ou vagão-tanque;
- Acumulação de volume mínimo de álcool para formação de bateladas para envio por duto (no caso de centros e Bases coletoras);
- Acumulação de volume mínimo de álcool para condicionamento do sistema de armazenamento (TRANSPETRO - Condições Gerais de Serviço – Álcool, 2008, itens 4.3.1 e 5).

Período de repouso do produto em tanque: Essa etapa geralmente ocorre após o recebimento de uma batelada do produto em tanque, e a homogeneização da mistura com o volume inicialmente estocado no tanque. O repouso dura geralmente 24 horas. Essa etapa normalmente precede a amostragem do produto estocado para exames de laboratório e certificação, e visa promover a isotropia¹³⁰ (ou detectar a falta dela) no volume estocado em tanque, e conseqüentemente a uniformidade do volume armazenado necessária para essa amostragem.

Exames de laboratório – certificação: A legislação da ANP exige que o produto comercializado esteja de acordo com especificações de qualidade pertinentes. A etapa de certificação consiste de uma série de ensaios de amostras do produto em laboratório, visando atestar a qualidade do volume estocado, relativamente às especificações exigidas. Dependendo do elenco de testes necessários, um intervalo de tempo estará associado à etapa de certificação do produto, podendo freqüentemente vir a ser uma fonte de gargalo na unidade de armazenamento¹³¹.

Pré-aquecimento de produto: Essa etapa pode ser necessária em sistemas que movimentam produtos pesados ou com baixo ponto de fluidez¹³². O aquecimento de seções das linhas dutoviárias pode também ser necessário.

¹³⁰ A isotropia é a característica de uma substância que possui as mesmas propriedades físicas independentemente da direção (parte ou seção da amostra) considerada (WIKIPEDIA, 2008).

¹³¹ A formação de fila de amostras para análise normalmente não está cogitada dentro das modelagens de simulação, embora na realidade esse problema possa ocorrer. Trata-se então de um gargalo gerado por problema (ou restrição) administrativo.

¹³² Conforme visto na seção 4.2.

Todas essas operações de aquecimento combinadas podem ensejar acréscimo de tempo na movimentação simulada do produto, podendo também contribuir para a formação de gargalo.

Operação pulmão: Etapa caracterizada pelo recebimento de uma batelada em tanque da unidade de armazenamento por linha dutoviária e o envio simultâneo para outro trecho dutoviário com vazão igual ou não àquela do recebimento (em analogia com FELIZARI *et al.*, 2007, seção 3.1, alínea *h*). Ao contrário das etapas mencionadas anteriormente, a operação pulmão, quando possível, permite evitar a formação de um gargalo local. A verificação do modelo deverá observar a possibilidade de realizar essa operação no sistema real. Geralmente a legislação tributária exige que o produto seja proveniente de local de onde já tenha sido desembarçado, ou que esteja sendo enviado para área alfandegada, para desembarço aduaneiro no destino¹³³. Essa exigência poderá restringir ou mesmo inviabilizar a operação pulmão no sistema.

Geração de filas nos terminais: Alguns tipos de modelo de simulação consideram a possibilidade de geração de filas de navios e outras embarcações nos terminais marítimos e hidroviários, ou ainda, filas de comboios de vagões-tanque ferroviários ou de caminhões-tanque¹³⁴ nos terminais e Bases de distribuição. O tamanho de filas é um indicador de gargalo muito utilizado em modelos de simulação.

¹³³ Considerando que normalmente não é permitido o desembarço aduaneiro do produto em fluxo.

¹³⁴ Somente devem ser modeladas as filas de caminhões-tanque e vagões-tanque quando elas forem geradas pelo aguardo de disponibilidade de produto ou de espaço para armazenagem em tanque. Filas geradas por outras causas podem não estar relacionadas especificamente a problemas de armazenamento.

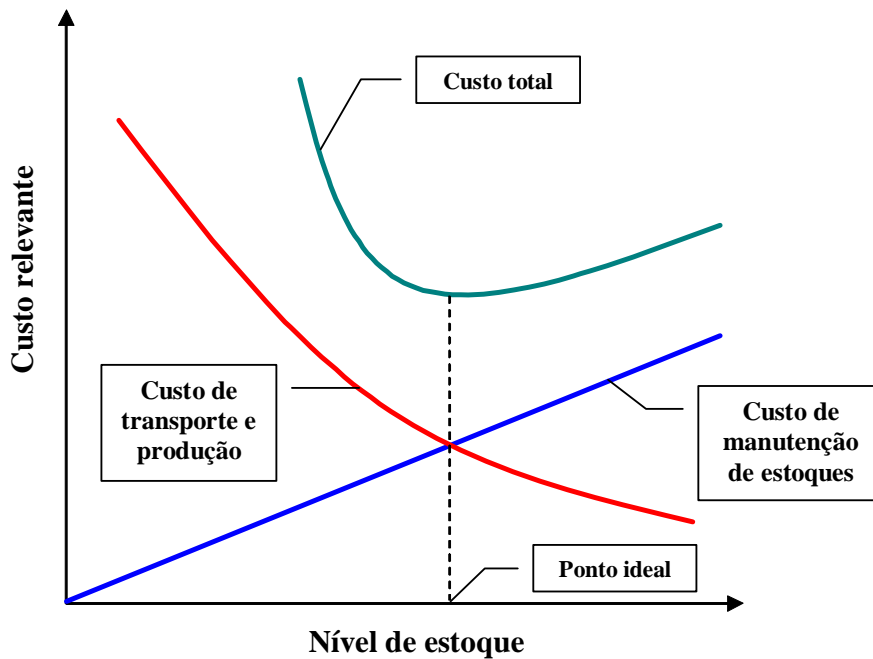
4.9

Variáveis e indicadores relevantes

Nesta seção descrevemos os indicadores que servirão de base na análise do problema de dimensionamento da capacidade de armazenamento. Eles são gerados (diretamente ou calculados a partir de valores gerados) pela simulação do sistema que está configurado no modelo apropriado para aplicação em cada problema específico.

Nível de estoque (média e evolução no tempo): Segundo BALLOU (1993, cap. 8 pág. 155), o produto em estoque garante muitas vezes o atendimento quando há aumentos imprevistos da demanda. Há possibilidade de minimizar o custo logístico total, mantendo um nível adequado de estoques, que permita o equilíbrio dos custos de manutenção e armazenagem com os custos de transporte e produção (Fig 4.9.1). Na indústria de petróleo, a necessidade de utilização da armazenagem como parte do processo de produção se observa principalmente nas unidades de produção do refino, as quais possuem um parque de armazenamento próprio, tanto para produtos acabados como para produtos intermediários¹³⁵.

¹³⁵ Há uma logística intrínseca aplicada a esses parques de armazenamento, cuja complexidade requer integração das decisões de armazenamento e transferência de produtos com aquelas inerentes aos processos do refino. No escopo deste trabalho essa matéria não está incluída.



FONTE: BALLOU, 1993, cap. 8, pág. 153

Figura 4.9.1: Custo de estoques e armazenagem versus custo de transporte e produção

Conforme as definições de estoques estabelecidas anteriormente¹³⁶, podemos definir o nível total de estoque e o estoque médio de cada produto como:

$$E_T(i) = E_{OP}(i) + E_S(i) \quad (4.9.1)$$

$$E_T = \sum_i E_T(i) \quad (4.9.2)$$

$$\bar{E}_T(i) = \frac{\sum_t E_T(i,t) \cdot t}{\sum_t t} \quad (4.9.3)$$

sendo: E_T o estoque total na unidade de armazenamento;

¹³⁶ No capítulo 2, seção 2.2.

$E_T(i)$ o estoque total no recipiente¹³⁷ (i);

$E_{OP}(i)$ o estoque operacional de ciclo no recipiente (i);

$E_S(i)$ o estoque de segurança no recipiente (i);

$\bar{E}_T(i)$ o estoque médio no recipiente (i);

$E_T(i,t)$ o estoque total $E_T(i)$ durante um sub-período t da simulação.

Se o modelo for construído de modo a simular a operação de mais de um tanque de modo separado, então obteremos um valor do nível total de estoque $E_T(i)$ para cada tanque, determinado pela simulação, de modo que o respectivo nível do estoque operacional de ciclo poderá ser calculado indiretamente, pela fórmula (4.9.1). Considerando que o estoque de segurança total $\sum_i E_S(i)$ geralmente entra no modelo como parâmetro (valor fixo em cada cenário), a partição do estoque operacional por recipiente pode ser controlada à parte, pela partição correspondente do estoque de segurança¹³⁸, ou dirigida pela programação do modelo. Em todo caso, conforme a definição da fórmula (4.9.1), o estoque de segurança estará contido no nível total de estoque. Estando definida a partição do estoque entre tanques no modelo, o estoque total será definido pela fórmula (4.9.2), sendo cada uma de suas parcelas determinada pela simulação. A evolução do nível de estoque total em cada instante da simulação, quando permitida a sua visualização pelo modelo, permite diagnósticos úteis do comportamento do sistema, tais como a tendência à formação de gargalos, a frequência com que o nível de estoque fica abaixo do estoque de segurança, ou a ordem de grandeza do volume de estoque em trânsito, nos diversos tipos de modal de transporte utilizados. Já a média do nível de estoque geralmente aparece como um dos componentes dos relatórios produzidos pelo modelo, sendo seu cálculo efetuado pela acumulação dos produtos dos níveis correspondentes a cada subperíodo (ou

¹³⁷ Por recipiente entendemos qualquer ativo da cadeia de suprimento com capacidade de armazenamento em quantidade significativa: tanques, linhas dutoviárias, estoque em trânsito, etc, desde que sejam considerados como parte da unidade de armazenamento.

¹³⁸ Sugere-se considerar a partição do estoque de segurança igual a zero nos recipientes de estoque em trânsito e nas linhas dutoviárias, em face da necessidade do estoque de segurança estar certificado em tanque, para disponibilidade de entrega imediata.

evento) pela duração do subperíodo, durante a simulação, e pela divisão pelo período total, no final da simulação, segundo a fórmula (4.9.3)¹³⁹.

Ocupação da tancagem (média e comportamento no tempo): É a relação entre o nível de estoque e a capacidade operacional de armazenamento. O acompanhamento desse indicador é indispensável, no estudo de dimensionamento da capacidade de armazenamento. Para cada produto, o nível de ocupação de um tanque pode ser definido simplesmente por:

$$\%Ocup(i) = \frac{E_T(i)}{V(i)} \quad (4.9.4)$$

sendo: $E_T(i)$ o estoque total no tanque (i);

$V(i)$ a capacidade operacional do tanque (i).

O nível de ocupação da tancagem na unidade de armazenamento, englobando todos os tanques (para cada produto), será determinado por:

$$\%Ocup = \frac{\sum_i E_T(i)}{\sum_i V(i)} \quad (4.9.5)$$

As respectivas médias do nível de ocupação da tancagem podem ser obtidas substituindo-se o termo do numerador nas fórmulas (4.9.4) e (4.9.5) pelo estoque médio calculado pela fórmula (4.9.3). Esse indicador poderá revelar prontamente uma condição de gargalo na unidade de armazenamento (nível elevado) ou de capacidade ociosa (nível reduzido). Em modelos de simulação, em geral, a capacidade de armazenamento é fixada como um parâmetro, sendo o estoque uma variável dependente, cujos valores são gerados pela simulação, conforme explicado anteriormente. O nível de ocupação da tancagem poderá então ter a sua evolução registrada em cada instante da simulação, tal como o

¹³⁹ O estoque médio também pode ser convertido em **dias de estoque**, pelo quociente entre o valor médio do estoque e a demanda diária média alocada na unidade de armazenamento, permitindo uma medida da duração média desse estoque (sem reposição) sob determinado nível de demanda diária alocada.

indicador de nível de estoque, permitindo mais diagnósticos úteis do comportamento do sistema, principalmente quanto à formação de gargalos ou à existência de capacidade ociosa.

Alguns modelos permitem fixar o valor do **espaço de segurança**¹⁴⁰ como parâmetro de entrada na simulação. O espaço de segurança pode ser definido (para cada produto) como:

$$V_S(i) = V(i) - E_{T,máx}(i) \quad (4.9.6)$$

$$V_S = \sum_i V_S(i) \quad (4.9.7)$$

sendo: $V_S(i)$ o espaço de segurança no tanque i ;

$E_{T,máx}(i)$ o nível máximo operacional (desejado) do estoque no tanque i ;

V_S o espaço de segurança total na unidade de armazenamento.

Sendo $V_S(i)$ e $V(i)$ fixados como parâmetros da simulação, então $E_{T,máx}(i)$ estará fixado também. Seu significado, porém, será de um marcador simples (assim como $V_S(i)$), ou de um limite a ser respeitado, pois a evolução do nível de estoque estará sendo representada pela variável aleatória $E_T(i)$. A vantagem de se considerar o espaço de segurança está em se poder simular a operação de armazenamento administrando o estoque, e evitando que ele sistematicamente atinja a capacidade total do tanque, o que ensejaria uma paralisação ou descontinuidade da operação do sistema de armazenamento. Em geral, os modelos que aplicam o método de controle por revisão periódica dos estoques utilizam o espaço de segurança como parâmetro relevante na determinação do volume do lote de produto em cada reposição. Já os modelos de simulação com base no controle por ponto de pedido podem utilizar o valor do espaço de segurança para cálculo ou verificação do volume do lote de reposição, o qual, nesse caso, é fixo.

¹⁴⁰ Conforme capítulo 2, seção 2.2, §7 a 10.

Como resultado da combinação das fórmulas (4.9.4) e (4.9.6), ou de (4.9.5) e (4.9.7), o valor-limite do indicador de nível de ocupação da tancagem, em função do limite estabelecido pelo espaço de segurança, pode ser expresso por:

$$\%Ocup(i)_{\text{máx}} = 1 - V_s(i)/V(i) \quad (4.9.8)$$

ou

$$\%Ocup_{\text{máx}} = 1 - \frac{\sum_i V_s(i)}{\sum_i V(i)} \quad (4.9.9),$$

respectivamente. O nível de estoque, nesses casos, será respectivamente igual a $E_{T,\text{máx}}(i)$ ou a $\sum_i E_{T,\text{máx}}(i)$. As duas fórmulas anteriores permitem rapidamente calcular o valor-limite do nível de ocupação da tancagem, para comparação com o seu valor nas soluções apresentadas pelo modelo de simulação.

Nível de atendimento aos mercados (nível de serviço): É definido como a probabilidade de atendimento do pedido do cliente com o produto disponível em estoque (BALLOU, 2004, cap. 9, pág. 277-278). No estudo de dimensionamento da capacidade de armazenamento, o nível de serviço é a medida da disponibilidade de produto para entrega imediata a partir do estoque da unidade de armazenamento. O indicador correspondente ao nível de serviço definido acima, para cada produto, é expresso por:

$$N_s = 1 - \frac{\sum F(t)}{D} \quad (4.9.10)$$

sendo: $F(t)$ cada parcela de demanda do produto não disponível para entrega, relativa a um sub-período t , do período total analisado;

D a demanda total do produto, relativa ao período total analisado.

O indicador é expresso em percentagem, e varia entre 0 e 100%. $F(t)$ é uma variável aleatória, cujos valores são gerados conforme combinações de fatores intrínsecas durante a simulação, resultantes do reconhecimento automático das condições de falta do produto pelo modelo representativo do sistema de armazenamento. Na fórmula acima, poder-se-ia empregar a demanda **prevista**, com resultados razoáveis para a análise. Entretanto, os valores da demanda “realizada” são também gerados durante a simulação¹⁴¹, na maioria dos modelos, o que permite efetuar o cálculo do indicador acima como o resultado da relação entre os valores de duas variáveis aleatórias, obtidos dessa simulação (o que é preferível).

O indicador de nível de serviço é largamente empregado na simulação da operação de armazenamento, sendo primordial o seu acompanhamento nos resultados¹⁴², seja para dimensionamento da capacidade, ou para diagnóstico da operação da unidade de armazenamento em estudo.

Giro da tancagem: É a razão entre a demanda alocada de cada produto na unidade de armazenamento e a respectiva capacidade operacional de armazenamento, relativa a determinado período.

$$G_T = \frac{D}{\sum_i V(i)} \quad (4.9.11)$$

Ou seja, esse indicador determina quantas vezes a capacidade de armazenamento seria reabastecida totalmente (e subsequente esgotada

¹⁴¹ Geralmente definida como variável aleatória no modelo (conforme seções 3.1 §3 e 4.5 §4).

¹⁴² Em termos mais rigorosos, podemos cogitar a existência de um nível de serviço **definitivo** como sendo a percentagem de clientes atendidos, ou o volume entregue dentro de um intervalo de tempo desde a recepção do pedido do cliente. Esse nível poderá ser **menor** do que aquele definido no indicador anterior (devido, por exemplo, a limitações do número de plataformas de carregamento rodoviário). A responsabilidade sobre um gargalo a jusante da unidade de armazenamento não deverá ser obstáculo ao dimensionamento da capacidade dessa unidade, caso contrário, a operação com esse gargalo deverá ser considerada na modelagem.

totalmente) para atender toda a demanda alocada, durante um período determinado¹⁴³.

Número e volume de faltas (*stock-out*): No cálculo do indicador **nível de serviço**, o termo $\sum_t F(t)$ é o volume de faltas acumuladas durante determinado período de tempo. O número de ocorrências de faltas de produto para entrega (independentemente das quantidades respectivas) é outro indicador relevante nos estudos de sistemas de armazenamento. Deste modo, um nível de serviço satisfatório, por exemplo (determinado pela fórmula 4.9.10), poderá estar acompanhado de um indicador de ocorrências de faltas **elevado** (embora em volume pequeno), o que indica mau desempenho do sistema de armazenamento.

Ocorrência de excedentes (*overflow*): É a situação oposta à ocorrência de faltas de produto. Esse indicador é simplesmente o total acumulado das quantidades de cada produto que sobram em relação às capacidades de armazenamento respectivas, durante cada período da simulação.

Tamanho das filas nos terminais: Embora a formação de filas possa ser traduzida por uma parcela de custos, a sua visualização permite às vezes constatar ocorrência de colapso no sistema de armazenamento, determinando a inviabilidade sem a necessidade de entrar no mérito de custos.

Taxas de utilização dos modais de transporte: Outro indicador que permite constatar irregularidades no sistema é a razão entre quantidade movimentada e capacidade total de cada modal de transporte (por período). Uma formação de gargalo no sistema de transporte ferroviário, por exemplo, é indicada por uma taxa de utilização reduzida correspondente. O balanceamento entre o emprego dos modais de transporte diversos pode também ser aferido por este indicador, sendo uma informação útil em termos de diagnóstico do sistema em estudo.

¹⁴³ O indicador correlato de **giro de estoque**, por sua vez, mede quantas vezes o estoque total seria esgotado (e subseqüentemente repostado totalmente) para atender toda a demanda alocada, durante um período determinado (BALLOU, 2004, cap. 9, pág 304): $G_E = D / \sum_i E_T(i)$.

4.10

Indicadores de custos

De acordo com a abordagem de otimização descrita anteriormente¹⁴⁴, o custo relevante total foi citado como a soma de vários componentes. Cada um deles será detalhado a seguir (adaptados de PEREIRA *et. al*, 2003). Eles são, essencialmente, custos obtidos pela agregação de volumes de faltas ou excedentes de produto na unidade de armazenamento e multiplicação por preços ou custos unitários, ou então, pela multiplicação destes últimos por valores médios de nível de estoque ou volume de produto movimentado¹⁴⁵. Geralmente é efetuada sua conversão para valores unitários por período, para comparação entre si.

As parcelas de custo descritas nesta seção foram empregadas na lógica dos modelos matemáticos de simulação que descrevem sistemáticas operacionais vigentes em uma Base de Distribuição de derivados. Estes modelos foram desenvolvidos por técnicos experientes da PETROBRAS e utilizados como suporte em estudos de dimensionamento de tancagem.

Custo da falta de produto: BALLOU (2004, cap. 9, pág. 280) descreve duas situações distintas que poderão ocorrer quando há falta de produto em estoque, para atendimento da demanda da unidade de armazenamento: (a) As **faltas recuperáveis** (atendimentos postergados), quando o cliente fica aguardando a disponibilidade do produto; (b) As **faltas irrecuperáveis** (vendas perdidas), quando o cliente possui serviço de transporte próprio (geralmente frota de caminhões-tanque), o que lhe dá autonomia para retirar o produto de outro fornecedor, ficando perdida a parcela de vendas correspondente, da unidade de armazenamento em estudo¹⁴⁶.

No problema de dimensionamento da capacidade de armazenamento, os custos correspondentes às duas situações acima podem ser avaliados a partir dos resultados dos volumes de faltas obtidos da simulação (embora na sua concepção,

¹⁴⁴ Na seção 4.7 §8.

¹⁴⁵ Indicadores desta espécie não se propõem a ser uma apuração **exata** do custo real, pois isto já é difícil na prática, e ainda mais difícil, no contexto de uma simulação. No entanto, suas formulações são úteis, para estimar a **variação** de custos entre dois cenários submetidos ao modelo de simulação, a qual geralmente constitui indicação relevante para os estudos de armazenamento.

¹⁴⁶ O autor cita, além do custo da perda de vendas, possível adicional associado à insatisfação do cliente, com efeito negativo sobre vendas futuras.

seja difícil garantir a exatidão desses custos¹⁴⁷). Numa formulação mais simplificada, a parcela agregada de custos atribuída a faltas recuperáveis (C_{falta_recup}) pode ser calculada conforme a seguir:

$$C_{falta_recup} = p \cdot V_{falta_recup} \cdot i_A \cdot (1 + m\%) \quad (4.10.1)$$

sendo: p o preço de aquisição do produto, relativo à parcela em falta;

V_{falta_recup} o volume de produto em falta recuperável (o total das parcelas $F(t)$ da fórmula (4.9.10) acumuladas para as faltas recuperáveis);

i_A a taxa de atratividade acumulada¹⁴⁸ durante o período em falta;

$m\%$ a margem percentual de lucro na venda do produto.

Trata-se em princípio de uma parcela de custo financeiro gerada pela postergação do ganho da parcela de lucro correspondente, devida ao faturamento do produto postergado.

A parcela agregada de custos correspondente às faltas irrecuperáveis ($C_{falta_irrecup}$), por sua vez, é calculada conforme abaixo:

$$C_{falta_irrecup} = p \cdot V_{falta_irrecup} \cdot (1 + m\%) \quad (4.10.2)$$

sendo: $V_{falta_irrecup}$ o volume de produto cuja venda é perdida (o total das parcelas $F(t)$ da fórmula (4.9.10) acumuladas para as faltas irrecuperáveis).

¹⁴⁷O desdobramento em custos de faltas recuperáveis e irrecuperáveis depende de uma estimativa da fração do conjunto de clientes com (ou sem) autonomia para buscar produto de outro fornecedor. Essa estimativa pode ser feita pela apuração da média ou total das vendas para cada tipo de cliente e dividindo-a pela média ou total de vendas globais, realizadas sobre um período de tempo recente, de preferência.

¹⁴⁸A taxa de atratividade é a taxa mínima de retorno sobre os investimentos aceitos no portfólio da empresa (BALLOU, 2004, cap. 9 pág 279). A taxa i_A acumulada durante d períodos é calculada por: $i_A = (1 + i_a)^d - 1$, sendo i_a a taxa de atratividade equivalente ao período unitário.

As parcelas de volume do produto que incorrem em faltas recuperáveis e irre recuperáveis são geradas e acumuladas durante a simulação. Os outros elementos das fórmulas (4.10.1) e (4.10.2) são parâmetros econômico-financeiros do modelo, ou calculados a partir de tais parâmetros.

Custo de aquisição de produto: Custo relacionado com a formação e a reposição de estoques. Essa reposição pode ocorrer pela geração de produto nas unidades de produção da cadeia de suprimento¹⁴⁹, ou importação ou recebimento a partir de fontes remotas, através de diversos modais de transporte. Seus valores geralmente são caracterizados como **preços**, e fixados nas premissas, ou mudados em alguns cenários. Geralmente existem vários componentes de custos combinados, na composição do custo de aquisição, havendo sempre uma parcela de custos fixos, e outra, de custos variáveis em função do tamanho do lote de produto, de modo que é possível aplicar-se uma redução desse custo, e do preço correspondente, por aumento do tamanho do lote, se essa flexibilidade for permitida pelo modelo utilizado. Caso contrário, os valores de preço previamente calculados em função do tamanho do lote podem ser fixados em diferentes cenários para análise no modelo. O montante do custo de aquisição pode ser então calculado pela multiplicação do preço por cada parcela de volume do produto adquirido¹⁵⁰.

Custos de manutenção de estoque: Custos gerados, no decorrer do tempo, pelo armazenamento ou propriedade dos produtos. São classificados em quatro tipos (BALLOU, 2004, cap. 9, pág 279-280):

- **Custo de capital:** Custo do dinheiro imobilizado na estocagem do produto. Reflete a perda de uma parcela da disponibilidade financeira para aplicação na carteira de investimentos da empresa, em face da alocação correspondente dessa parcela de recursos financeiros na compra do produto que fica mantido em estoque. É considerado como um custo de

¹⁴⁹ Para produtos de petróleo, o custo de geração nas unidades produtoras possui grande complexidade de cálculo.

¹⁵⁰ Apesar do seu papel fundamental na formulação do custo relevante total, o custo de aquisição não é apresentado aqui como um indicador propriamente, mas sim, como um componente na formulação dos indicadores de custo aqui estudados.

oportunidade. O custo de capital imobilizado representa a parte maior e mais importante dos custos associados à manutenção de estoques.

- **Custo de espaço:** Custo unitário de ocupação da tancagem com o volume de produto (expresso em moeda por volume por período). É o custo correspondente à própria operação ou serviço de armazenamento. Nele se incluem os custos fixos operacionais¹⁵¹ e de investimento na construção de tanques e outros ativos da unidade de armazenamento.

- **Custos de serviço de estocagem:** Custos com seguros e impostos. Os seguros cobrem perdas causadas por incêndios, tempestades e roubos. Os impostos são calculados sobre os níveis de estoque.

- **Custos de risco de estocagem:** Custos resultantes de deterioração, obsolescência, danos e roubos não cobertos por seguros, perdas por contaminação, etc.

Em geral, nos estudos de sistemas de armazenamento, o custo de capital é usado para representar a parte variável do custo de manutenção de estoques, a qual é função do nível de estoques. Este, por sua vez, terá seu comportamento determinado pela simulação, conforme anteriormente proposto¹⁵². O cálculo do custo unitário de capital $C_{estoque}$ (expresso em moeda por período), para cada produto, é definido como um valor médio, segundo:

$$C_{estoque} = p \cdot i_a \cdot \bar{E}_T \quad (4.10.3)$$

sendo: p o preço de aquisição do produto;

i_a a taxa de atratividade correspondente ao período unitário;

\bar{E}_T o valor médio do estoque total do produto, por período unitário, na unidade de armazenamento¹⁵³.

¹⁵¹ Incluindo o custo de aquecimento, resfriamento ou pressurização, conforme as operações descritas na seção 4.8.

¹⁵² Seção 4.9, §3 e 4.

¹⁵³ O custo de capital poderia ser desmembrado nas parcelas correspondentes ao estoque operacional de ciclo e estoque de segurança, segundo a fórmula (4.9.1), mediante a extração dos valores médios respectivos.

Os outros três tipos de custo mencionados acima entram geralmente como custos fixos no modelo, ou não são nele incorporados, permanecendo como componentes para uma análise de viabilidade econômica posterior à simulação executada pelo modelo. Em termos práticos, isto significa que o custo de capital medirá o impacto econômico da variação do nível de estoque dos produtos no modelo, já que os outros três tipos correspondem a um percentual pequeno do custo de manutenção de estoque, e incluem percentual considerável de custos fixos.

Custo de estoque em trânsito: Custo do produto retido durante o transporte em tanques de embarcações, vagões-tanque ou caminhões-tanque, ou em qualquer outro modal de transporte, incluindo o volume imobilizado dentro de tubulações de dutos¹⁵⁴. Esse custo é da mesma natureza do custo de capital imobilizado em estoques, definido anteriormente, entretanto sua distinção daquele custo é conveniente, se pensarmos em termos de diagnóstico da cadeia de suprimento, na qual a unidade de armazenamento está inserida¹⁵⁵. Sendo assim, o cálculo do custo unitário de estoque em trânsito $C_{estoque_tr\grave{a}nsito}$ (expresso em moeda por período), para cada produto, é definido como um valor médio, segundo:

$$C_{estoque_tr\grave{a}nsito} = p \cdot i_a \cdot \sum_k \bar{E}_{tr}(k) \quad (4.10.4)$$

sendo: p o preço de aquisição do produto;

i_a a taxa de atratividade correspondente ao período unitário;

$\bar{E}_{tr}(k)$ o valor médio do estoque total do produto em trânsito, por período unitário, retido no modal de transporte k .

¹⁵⁴ O produto permanecerá retido nos modais de transporte durante o tempo de viagem, carregamento, descarregamento, atracação, alinhamento, e durante o tempo necessário à realização de algumas etapas críticas e subprocessos (ver seção 4.8). No caso do transporte dutoviário, uma quantidade de produto correspondente ao volume ocupado na tubulação ficará nela retida permanentemente, durante a operação, a não ser que dê lugar ao volume de outro produto bombeado no duto.

¹⁵⁵ Deste modo, é possível, por exemplo, a existência de um baixo custo de estoque imobilizado nos tanques da unidade de armazenamento e de um custo elevado de estoque imobilizado retido nos veículos de transporte. A distinção entre os dois tipos de custo permitiria concluir, nesse caso, pela necessidade de aumento da eficiência do sistema de transporte e não do redimensionamento da capacidade da unidade de armazenamento em questão.

O volume $\bar{E}_{tr}(k)$ deve ser calculado incluindo as parcelas de produto que ficam aguardando a abertura de espaço em tanque para descarregar. A distinção entre essas parcelas de produto em espera e aquelas efetivamente em deslocamento durante a viagem, quando permitida pelo modelo, permite um diagnóstico mais preciso da operação do sistema em estudo, já que cada uma dessas parcelas poderá indicar a formação de gargalo em diferentes partes da cadeia de suprimento.

Custo de sobre-estadia: A sobre-estadia dos veículos de transporte utilizados nos vários modais gera custo proporcional ao tempo transcorrido e à capacidade total imobilizada, durante esse tempo¹⁵⁶. A apuração dos períodos nessas condições, e dos custos associados, e o próprio cálculo da sobre-estadia, nas operações reais, envolve certa complexidade e a aplicação de regras específicas. Para uma estimativa simplificada da incidência do custo diário de sobre-estadia ($C_{sobre-estadia}$) em modelos de simulação, a fórmula abaixo é utilizada em alguns modelos:

$$C_{sobre-estadia} = \sum_k \frac{c_k}{A_k} \cdot V_k \quad (4.10.5)$$

sendo: c_k o custo diário de um equipamento ou veículo parado, do modal k ;

A_k a capacidade de cada equipamento ou veículo, do modal k ;

V_k o volume (ou excedente) de produto que gera capacidade imobilizada correspondente do modal k ;

Observa-se que esse custo incide com base nas simples ocorrências de sobre-estadia em determinados dias, não dependendo da sua duração. É admissível que a ocorrência no dia seja caracterizada apenas após certo intervalo de tempo transcorrido (carência) em excesso. Na fórmula acima, o volume V_k é

¹⁵⁶ A sobre-estadia de navios-tanque é exceção. O custo correspondente incide através de multa diária (*demurrage*), cujo cálculo depende de regras contratuais.

gerado pela simulação, e o número de equipamentos parados de cada modal (navios-tanque, vagões-tanque, caminhões, etc) é estimado pela razão V_k / A_k .

Custo de excedente de produto: Custo gerado pela sobra de pedidos em relação à demanda realizada. Ocorre associado à quantidade em excesso que chega à unidade de armazenamento, o que significa uma antecipação de pedidos em relação à demanda correspondente. Esse custo ($C_{excedente}$) pode ser calculado por:

$$C_{excedente} = p \cdot V_{excedente} \cdot i_A \quad (4.10.6)$$

sendo; p o preço de aquisição do produto, relativo à parcela em excesso;

$V_{excedente}$ as parcelas de volume de produto em excesso acumuladas;

i_A a taxa de atratividade acumulada durante o período antecipado.

O número de dias antecipados pode ser estimado pelo quociente entre $V_{excedente}$ e a demanda diária D alocada na unidade de armazenamento. Com isto, a taxa de atratividade acumulada correspondente é calculada por:

$$i_A = (1 + i_a)^{(V_{excedente} / D)} - 1 \quad (4.10.7)$$

sendo i_a a taxa de atratividade equivalente ao período unitário.

Custo de degradação de produto: Custo gerado pela perda da receita de venda da parcela do produto degradado¹⁵⁷. Esse custo (C_{degr}) pode ser expresso por:

$$C_{degr} = (p_1 - p_2) \cdot V_{degr} \cdot (1 + m\%) \quad (4.10.8)$$

em função de: p_1 o preço de aquisição do produto degradado (mais nobre);

¹⁵⁷ Rever seção 4.7 §20.

- p_2 o preço de aquisição do produto resultante da degradação (menos nobre);
- $V_{deg r}$ as parcelas acumuladas de produto degradado;
- $m\%$ a margem percentual de lucro na venda dos produtos¹⁵⁸.

sendo $p_1 > p_2$.

Esse indicador de custo se refere apenas às parcelas de produto cuja degradação é realizada deliberadamente, na unidade de armazenamento¹⁵⁹.

Custos de transporte de produto: São essencialmente gastos com frete no transporte por cada modal utilizado. Esses custos são indicadores importantes na análise, devido à sua clássica compensação (*trade-off*) com os custos de manutenção de estoque (Fig 4.9.1). O cálculo do custo de transporte (C_{TR}), para cada produto, é dado por:

$$C_{TR} = \sum_k V_{TR}(k) \cdot fr(k) \quad (4.10.9)$$

- sendo: $V_{TR}(k)$ as parcelas acumuladas de produto transportadas através do modal k ;
- $fr(k)$ o frete do produto, utilizando o modal k .

Os custos de faltas de produto, sobre-estadia, excedente, degradação e transporte, calculados acima, são custos agregados em determinado período, sendo efetuada sua conversão para custos unitários por período, dividindo-os pelo número de períodos considerado. Dentre os tipos de custo citados, alguns são crescentes em função do nível de estoques, outros são decrescentes (Tabela 4.10.1).

¹⁵⁸ Se cada um dos produtos possui margem de lucro diferente, a fórmula (4.10.8) muda para: $C_{deg r} = V_{deg r} \cdot [p_1(1 + m_1\%) - p_2(1 + m_2\%)]$, sendo $m_1\%$ e $m_2\%$ respectivamente as margens de lucro do produto degradado e do produto resultante da degradação.

¹⁵⁹ Não incluindo as degradações que ocorrem naturalmente, seja na formação de mistura na interface entre as duas bateladas de produtos, ou a degradação integral para resíduo.

Tabela 4.10.1: Relação dos custos com o nível de estoque

CORRELAÇÃO COM O NÍVEL DE ESTOQUE	TIPO DE CUSTO
CRESCENTE	Manutenção de estoques
	Estoque em trânsito
DECRESCENTE	Falta de produto
	Aquisição de produto
	Transporte de produto

Extraído de BALLOU, 2004, cap.2, pág 58

4.11

Conduzindo a análise

Dispondo-se de modelo de simulação confiável¹⁶⁰ para utilização como ferramenta de apoio, passa-se à análise dos resultados desse modelo, para o problema de dimensionamento da capacidade de armazenamento. Pressupõe-se que os fatores relevantes, que foram descritos no CAPÍTULO 2 (seção 2.5), tenham sido considerados na etapa da modelagem, com abordagem satisfatória. Estando algum deles não equacionado, o prosseguimento da análise, utilizando-se tal modelo, poderá estar contra-indicado, nesses casos.

Para a análise de um problema específico podem ser criados cenários múltiplos, ou apenas dois, para simples confronto entre eles. Em muitos estudos, apenas um cenário é projetado para ser comparado com um cenário de referência. Este último representa, em geral, as condições reinantes no sistema atual, ou na ausência de tal sistema (no caso de estar sendo estudado um sistema ainda em projeto).

O produto da simulação será um conjunto de indicadores relevantes para a análise¹⁶¹, e os valores de cada um deles, correspondentes a cada um dos cenários analisados. A escolha dos indicadores prioritários deverá ser condizente com os objetivos colimados, a partir da formulação dos principais problemas pertinentes. Naturalmente, dentro do escopo deste trabalho, grande parte desses problemas se traduz pela decisão sobre a implantação (ou ampliação) da capacidade de armazenamento, mas é possível que também haja necessidade de se decidir pela

¹⁶⁰Nesse contexto, a verificação e a validação da modelagem de simulação são os recursos universalmente adotados a fim de lhe garantir a máxima representatividade do sistema em estudo e de suas operações através da simulação.

¹⁶¹ Conforme explicado nas seções 4.9 e 4.10.

implantação de outros ativos logísticos¹⁶², como complemento necessário à operação com as modificações propostas.

De posse dos resultados envolvendo os indicadores relevantes, procura-se responder às questões pertinentes aos problemas acima citados. A mais comum é a determinação do **nível de estoque** e da **capacidade de armazenamento** adequados para cada produto, na unidade de armazenamento. O que se entende por **adequado** é precisamente o cerne da questão abordada na metodologia aqui proposta, para a análise do problema do dimensionamento. Assim, um nível adequado de estoques pode ser estabelecido como aquele que permite minimização do custo total relevante¹⁶³, atingindo o nível de serviço desejado¹⁶⁴. Já a capacidade de armazenamento adequada é aquela que permite a operação de armazenamento sem sobrecarga, evitando assim, a criação de gargalo na cadeia de suprimento. Às vezes, a indicação do aparecimento de gargalo, ou de estoque insuficiente, pode ser obtida visualmente, em alguns tipos de sistema, utilizando-se alguns modelos de simulação. Contudo, como a indicação dos valores adequados para o nível de estoques e para a capacidade de armazenamento não é tão cristalina na maioria dos casos, torna-se necessária a aplicação de certas técnicas de análise aos principais indicadores selecionados na metodologia aqui proposta.

Esses indicadores deverão estar avaliados de forma estatisticamente consistente, isto é, as estimativas dos seus valores representadas pelas respectivas médias, desvios-padrão e intervalos de confiança, calculados com base em uma amostra de tamanho suficiente, composta de repetições da simulação, e contendo resultados **independentes entre si** e **identicamente distribuídos**¹⁶⁵. A Tabela 4.11.1 exemplifica como podemos estimar a faixa em que se encontra o valor de um indicador, por meio do intervalo de confiança calculado no tratamento estatístico dos resultados de uma simulação¹⁶⁶. Para isso, é recomendável o

¹⁶² Tais como berços de carregamento, linhas dutoviárias internas, bombas para aumentar a vazão de transporte de produtos, ou até mesmo algumas mudanças de configuração de alinhamento de tanques.

¹⁶³ Conforme explicado na seção 4.9.

¹⁶⁴ O nível de serviço mínimo poderá estar fixado pelas condições do ambiente de negócio (mercado, concorrência, etc.) sejam elas formais ou não, ou apenas como premissa do estudo.

¹⁶⁵ Conforme cap. 3, seção 3.3.

¹⁶⁶ Idem.

cálculo prévio do número de replicações da simulação necessário para redução do intervalo de confiança da média de cada um desses indicadores¹⁶⁷.

Tabela 4.11.1: Estimativa do intervalo de confiança da média do indicador X

\bar{X}	S	N	α	$t_{n-1, 1-\alpha/2}$	Limite inferior	Limite superior	meia-largura
479,89	70,17	10	5%	2,262	429,69	530,09	50,20

Extraído de KELTON, SADOWSKI *et* STURROCK (2004, cap. 6, seção 6.3, pág. 260-261)

Resultados obtidos da simulação da armazenagem do produto individual podem ser analisados de modo independente, enquanto que os resultados relativos a mais de um produto (com interação) podem ser relacionados com cada grupo de produtos que compartilha a utilização de ativos nas unidades de armazenamento, ou na cadeia de suprimento à qual essas unidades pertencem.

Se o modelo de simulação trabalha com mais de uma unidade de armazenamento integrada no sistema, as soluções ótimas obtidas para cada unidade podem ser confrontadas com a solução ótima obtida para o sistema como um todo. Eventuais divergências merecem ser anotadas, considerando que o interesse de cada gestor de uma unidade de armazenamento estará sendo também analisado.

Uma análise de sensibilidade de parâmetros ou variáveis sobre o resultado é sempre útil, e pode ser conduzida utilizando a simulação.

Em uma etapa inicial da análise, pode-se efetuar um acompanhamento da evolução dos níveis de estoque de cada produto em cada unidade de armazenamento (se possível em um gráfico em função do tempo), e principalmente do nível de estoque total no sistema, a fim de determinar o perfil da curva de estoques. Essa medida permitirá diagnosticar prontamente a vulnerabilidade do sistema, caracterizada pela ocorrência de flutuações significativas¹⁶⁸, bem como a existência de recursos ociosos ou sobrecarregados, no sistema. Incursões frequentes do nível de estoque abaixo do estoque de segurança indicam risco de desabastecimento da unidade de armazenamento.

¹⁶⁷ No APÊNDICE V encontra-se descrita a formulação para o cálculo desse número de replicações (redução da variância).

¹⁶⁸ Paralelamente pode ser visualizado, no gráfico de evolução do estoque, se a fase transiente da simulação foi corretamente removida.

Excessos freqüentes, por outro lado, a ponto de preencher o volume do espaço de segurança, indicam condições de gargalo iminente.

Em estudos que envolvem terminais marítimos, os resultados costumam ser sensíveis aos tempos de viagem de navios-tanque, os quais, por sua vez, variam com as respectivas rotas de suprimento disponíveis. Assim, períodos longos de reposição ensejam o desabastecimento da unidade, independentemente da solução de armazenamento obtida pelo modelo, ou acabam forçando o aparecimento de soluções dispendiosas para sanar o desabastecimento. Igualmente, períodos muito curtos de reposição acabam induzindo soluções de armazenamento vultosas, dessa vez, por necessidade de espaço maior. A troca para uma rota de suprimento marítimo de tempo de viagem mais curto (ou longo, na segunda hipótese) poderá, em muitos casos, fornecer uma solução de custo bem menor, bastando para isso uma simples revisão das premissas adotadas no estudo.

Modelos que possuem configurações de berços, linhas dutoviárias internas ou bombas¹⁶⁹ apresentam resultados que variam largamente em função de tais configurações. Sendo assim, essas configurações deverão estar alinhadas com cenários robustos, com respaldo no planejamento estratégico da empresa, de preferência, para que as diferentes soluções apresentadas pelo modelo, com base nas respectivas configurações, possuam respaldo semelhante.

O trabalho de análise poderá ter que recapitular também os valores de indicadores relevantes e parâmetros, relativos a cada um dos modais de transporte. As diferentes combinações desses parâmetros podem mudar radicalmente as soluções de armazenamento apresentadas, podendo inclusive inviabilizar algumas delas.

Prosseguindo na análise, é possível avaliar o resultado da aplicação de políticas de estoque¹⁷⁰ no contexto do problema de dimensionamento, sendo necessário para isso o reconhecimento das regras de gestão de estoques atuantes no modelo, e de premissas associadas a essas regras. Por exemplo, nos modelos que empregam o método de controle por ponto de pedido, lotes pequenos ou níveis reduzidos do ponto de pedido podem responder por volume elevado de

¹⁶⁹ E as vazões respectivas.

¹⁷⁰ Conforme seção 4.7 §2.

faltas de produto na unidade de armazenamento¹⁷¹. Quando se emprega o método de revisão periódica, o tamanho do lote influi do mesmo modo, já que este indiretamente estará definido em função do nível pré-determinado para enchimento no tanque¹⁷².

A definição dos respectivos valores do estoque de segurança e do espaço de segurança para cada unidade de armazenamento faz parte da política de estoques, a qual poderá ser foco do problema, juntamente com o dimensionamento da capacidade de armazenamento. Assim, um maior nível do estoque de segurança normalmente resulta em um maior nível do estoque total (e vice-versa), em face justamente da aplicação das regras da gestão de estoque. Já o efeito oposto tende a ocorrer, com relação ao nível do espaço de segurança.

Um entendimento das regras fundamentais explicadas anteriormente¹⁷³ (além das regras da gestão de estoques) permite uma interpretação mais eficaz de resultados, principalmente de alguns não rotineiros¹⁷⁴. Às vezes, uma revisão geral das regras pode ser necessária, quando há indicação de custos muito elevados ou gargalos freqüentes (provavelmente resultantes de restrições em número elevado, ou muito rígidas)¹⁷⁵.

Adicionalmente, as seguintes ocorrências, quando geradas nas etapas críticas e subprocessos¹⁷⁶, durante a simulação¹⁷⁷, merecem ser interpretadas ou justificadas:

- Ciclo do estoque em tanque prolongado ou reduzido;
- Gargalo nas operações de abastecimento que operam com tanques pressurizados e refrigerados;
- Gargalo em operações que envolvem manobras de embarcações em áreas críticas;

¹⁷¹ Ou de excedentes, no caso oposto.

¹⁷² Conforme seção 4.7 §7.

¹⁷³ Na seção 4.7.

¹⁷⁴ A hierarquia existente na aplicação dessas regras determina a seqüência de comandos na lógica do modelo, o que influi significativamente nos resultados (a flexibilidade de variação do número de tanques no intercâmbio é um exemplo).

¹⁷⁵ Nesses casos, atenção especial deve ser dedicada às regras de escolha e disponibilidade de tanque; flexibilidade de variação do número de tanques e de troca intermodal; fungibilidade; e especialmente às de degradação e de bateladas de produtos adjacentes permitidas (seção 4.7).

¹⁷⁶ Detalhados na seção 4.8.

¹⁷⁷ No caso dos modelos que possuem as configurações operacionais com o detalhamento correspondente.

- Demora no desembarço alfandegário;
- Gargalo gerado por procedimentos operacionais para preservação da qualidade;
- Prolongamento dos períodos de repouso e certificação do produto em tanque;
- Período de pré-aquecimento do produto prolongado;

Feitas essas considerações, passa-se então à interpretação dos resultados obtidos do modelo de simulação, visando o diagnóstico da operação do sistema e a busca de uma solução de armazenamento adequada.

4.12

Interpretação dos resultados dos indicadores

Uma das primeiras indicações dos resultados das simulações de um sistema de armazenamento diz respeito à existência ou não de paralisações ou colapsos do sistema, como resultado de um desequilíbrio entre os parâmetros de mercado, operacionais e logísticos existentes em um cenário ou em partes da programação do modelo.

A ocorrência de colapso pode ser representada na simulação de um sistema de armazenamento por um crescimento descontrolado do tamanho de filas de embarcações em terminais marítimos ou hidroviários, ou de vagões-tanque e caminhões-tanque em terminais terrestres, quando permitida a visualização dessas filas pelo modelo de simulação¹⁷⁸. Nesse caso, admite-se, em princípio, que um custo total muito elevado está ocorrendo no sistema, reconhecendo-se como inviável o cenário presente na simulação, o que dispensa uma análise dos outros indicadores relevantes. A existência de gargalo na cadeia de suprimento é normalmente a causa dessa situação.

Alterações nas taxas de utilização dos modais de transporte podem revelar saídas estratégicas de gargalos, na simulação (quando existe flexibilidade para tal,

¹⁷⁸ As filas muito grandes de veículos de transporte de produto em locais de armazenamento podem se formar, segundo os modelos de simulação, pois, diferentemente do que ocorre na prática, no sistema simulado não há (normalmente) uma equipe de programação de transporte pronta para interferir interrompendo o envio dos veículos ao local até que o gargalo seja sanado. Essa indicação do modelo serve, todavia, para caracterizar a inviabilidade de um cenário analisado.

no modelo). O indicador correspondente¹⁷⁹ permite diagnosticar essa situação, caracterizada por um desbalanceamento entre essas taxas de utilização.

Não havendo indicação de ocorrência de colapso ou desbalanceamento, nos resultados da simulação, pode-se proceder à análise quantitativa das soluções de armazenamento através dos indicadores apresentados nas seções anteriores.

Falamos anteriormente¹⁸⁰ da importância da correlação entre nível de serviço e estoque. Havendo maior disponibilidade de estoque, existe menor probabilidade de ocorrência de falta de produto para entrega aos clientes, ou seja, cresce o nível de serviço (Fórmula 4.9.10). O gráfico da Figura 4.12.1 (obtido de um estudo de caso desta dissertação) ilustra esse comportamento. O nível de serviço cresce a uma taxa cada vez menor, conforme aumenta o nível de estoque, e tende a se estabilizar. Isto sugere que, a partir de certo nível de estoques, o ganho com o nível de serviço não mais justifica o aumento do estoque, e do seu custo de manutenção.

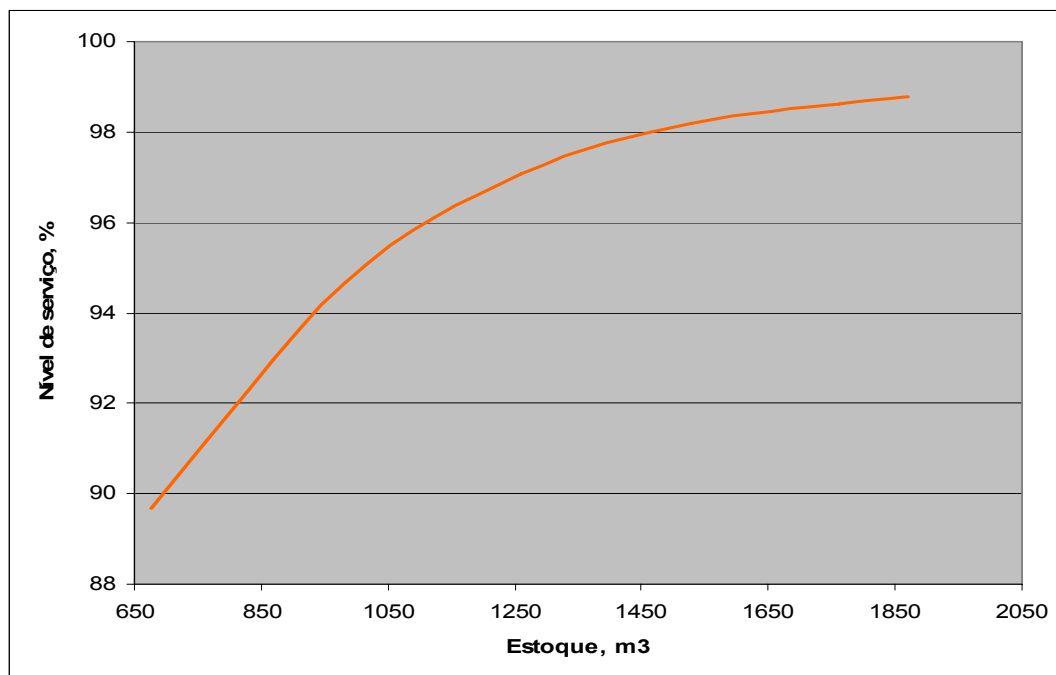


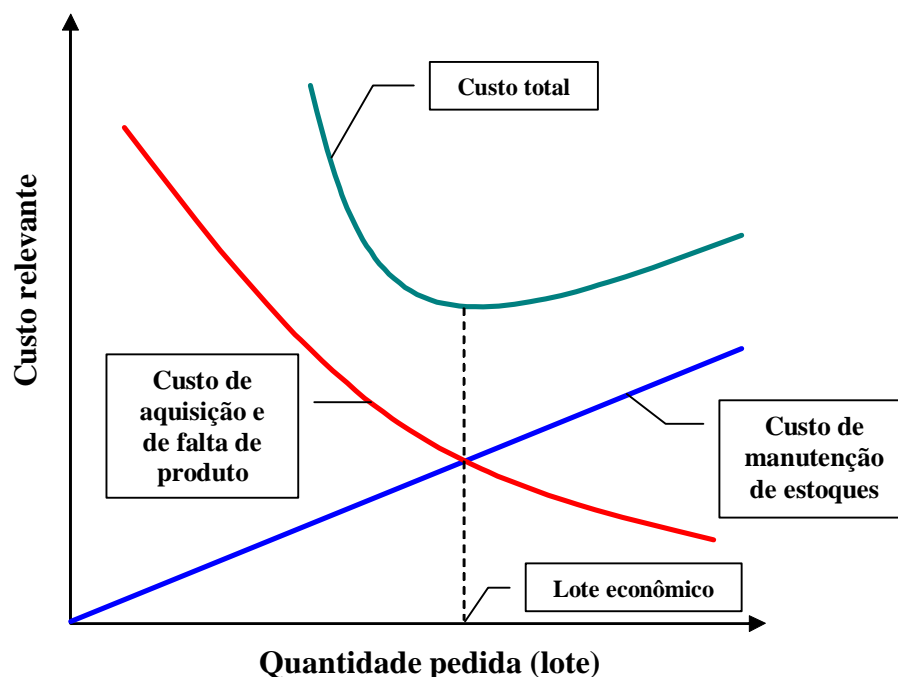
Figura 4.12.1: Comportamento do nível de serviço em função do estoque numa Base no RS

Existe, portanto, uma compensação (*trade-off*) entre os custos de manutenção de estoque e de falta de produto, conforme ilustrado na Figura 4.12.2.

¹⁷⁹ Conforme seção 4.9 §19.

¹⁸⁰ Cap.2, seção 2.4.

Segundo o gráfico, o tamanho do lote de reposição ideal é aquele que corresponde ao custo mínimo total. Na simulação da operação de armazenamento, as regras da gestão de estoque atuantes no modelo promovem o cálculo do lote de reposição¹⁸¹, a cada revisão do estoque, ou este é fixado como parâmetro do modelo. Em qualquer um desses casos, não havendo gargalo, o estoque médio crescerá com o tamanho do lote de reposição (assim como os custos de manutenção de estoque).



FONTE: BALLOU, 1993, cap. 10 pág 213

Figura 4.12.2: Compensação entre custo de estoques e custo de aquisição e faltas de produto

Na Tabela 4.12.1 listamos as causas mais comuns da variação do nível de estoque médio de um produto, em uma unidade de armazenamento. Verifica-se que este é o indicador que possui mais fatores influentes, o que torna indicada a sua abordagem em primeiro lugar, sem que haja risco de grandes omissões na seqüência de passos da análise. Assim, o estoque elevado pode ser caracterizado por seu valor médio também elevado (e vice-versa). Uma indicação útil pode ser obtida comparando-se o número médio de **dias de estoque** (estoque médio dividido pela demanda diária média) com o número médio de dias do intervalo de reposição do estoque.

¹⁸¹ A partir do estoque de segurança ou ponto de pedido, ou do nível de enchimento, fixados como parâmetro (seção 4.7, §4 a 7).

Tabela 4.12.1: Interpretação dos Resultados do Indicador Nível de Estoque (média e evolução)

NÍVEL	CARACTERIZAÇÃO	CAUSAS	IMPLICAÇÕES POSSÍVEIS
Elevado	<p>1- Valor mínimo sistematicamente acima do estoque de segurança</p> <p>2- Valor médio próximo ou acima do nível do espaço de segurança</p> <p>3- Número médio de dias de estoque muito acima do intervalo de reposição</p>	<p>1- Lote de produto recebido em volume elevado</p> <p>2- Ocorrências freqüentes de intervalos muito curtos entre chegadas de produto</p> <p>3- Pedidos de reposição de produto muito adiantados</p> <p>4- Chegadas de produto de fontes diferentes concentradas num intervalo de tempo curto</p> <p>5- Demora na liberação de produto na unidade de armazenamento</p> <p>6- Gargalo no envio de produto a jusante da unidade de armazenamento</p> <p>7- Estoque elevado de produto em trânsito</p> <p>8- Estoque elevado de produto em algum ponto a jusante da unidade de armazenamento</p> <p>9- Pedidos de retirada de produto demoram</p> <p>10- Queda significativa na demanda do produto</p> <p>11- Demanda alocada dimensionada acima do mercado local</p>	<p>1- Aumento do custo de manutenção de estoque de produtos</p> <p>2- Aumento da ocupação da tancagem</p>
Reduzido	<p>1- Nível fica freqüentemente muito abaixo do estoque de segurança</p> <p>2- Número médio de dias de estoque abaixo ou próximo do intervalo de reposição</p>	<p>1- Lote de produto recebido em volume reduzido</p> <p>2- Ocorrências freqüentes de intervalos muito longos entre chegadas de produto</p> <p>3- Pedidos de reposição de produto muito atrasados</p> <p>4- Disponibilidade reduzida de produto para envio à unidade de armazenamento</p> <p>5- Gargalo no transporte de produto para a unidade de armazenamento</p> <p>6- Pedidos freqüentes de retirada de produto</p> <p>7- Aumento significativo na demanda do produto</p>	<p>1- Redução do nível de serviço da unidade de armazenamento</p>

Valores próximos ou abaixo do intervalo de reposição são indicações de nível de estoque reduzido, pois nesse caso há maior chance de esgotamento do estoque antes da chegada do lote de reposição. Inversamente, valores largamente superiores ao intervalo de reposição indicam estoque elevado, em princípio¹⁸². O custo unitário de manutenção de estoque (Fórmula 4.10.3) será proporcional ao valor médio do estoque total (e do número médio de dias de estoque).

O nível de serviço possui importância capital, assim como o nível de estoque. Os custos de falta de produto crescerão em função das causas que promovem queda do nível de serviço, conforme listadas na Tabela 4.12.2. A menor disponibilidade de produto em estoque tende a reduzir o nível de serviço, aumentando as parcelas de demanda não disponíveis (em número e volume), e o custo de falta de produto correspondente. Desse modo, o estoque médio e o nível de serviço são dois indicadores cujos custos associados apresentam compensação recíproca (*trade-off*). A análise dessa compensação permite, em princípio, chegar a uma solução provisória de nível de estoque, correspondente ao custo mínimo associado a esses dois indicadores (Figura 4.12.2)¹⁸³.

Tabela 4.12.2: Interpretação da Redução do Indicador Nível de Serviço

CARACTERIZAÇÃO	CAUSAS	IMPLICAÇÕES POSSÍVEIS
1- Volume elevado de entregas de produto postergadas	1- As mesmas que promovem estoque reduzido	1- Aumento do custo de falta de produtos
2- Volume elevado de faltas de produto	2- Demora na liberação de produto na unidade de armazenamento	
	3- Gargalo no envio de produto a jusante da unidade de armazenamento	
	4- Gargalo no atendimento direto a partir da unidade de armazenamento	

¹⁸² Em modelos de simulação mais elaborados, o cálculo do número médio de dias de estoque é efetuado de modo dinâmico, em função dos valores do estoque e da demanda cada vez que estes são gerados durante a simulação. O resultado geralmente é diferente daquele obtido pela simples divisão do estoque médio pela demanda alocada.

¹⁸³ A solução não pode ser considerada definitiva, pois há outros custos em jogo (conforme visto na seção 4.10) a serem analisados.

É importante ressaltar que um número elevado de ocorrências de falta de produto, porém em pequena escala, poderá não produzir redução significativa do nível de serviço (calculado pela Fórmula 4.9.10), entretanto poderá significar desempenho duvidoso do sistema de armazenamento, considerando que o efeito associado à perda de imagem junto aos clientes pode influir nas vendas futuras. A análise do indicador de **número e volume de faltas** é útil para monitorar essa possibilidade¹⁸⁴.

A existência de gargalo decorrente da falta de espaço para armazenamento de produto pode ser monitorada por meio do indicador de **ocupação da tancagem (média e evolução)**. A Tabela 4.12.3 lista as causas e implicações da variação desse indicador. Assim, valores elevados tendem a aparecer como consequência normal da elevação do nível de estoque, ou podem estar indicando capacidade de armazenamento reduzida. A situação oposta pode ocorrer, devido à redução do nível de estoques, ou à existência de capacidade de armazenamento ociosa.

Tabela 4.12.3: Interpretação dos Resultados do Indicador Ocupação da Tancagem

NÍVEL	CARACTERIZAÇÃO	CAUSAS	IMPLICAÇÕES POSSÍVEIS
Elevado	1- Nível do estoque operacional freqüentemente ultrapassa o valor máximo, entrando no espaço de segurança da tancagem	1- As mesmas que promovem estoque elevado 2- Capacidade de armazenamento reduzida	1- Formação de gargalo na unidade de armazenamento 2- Aumento do custo de sobre-estadia dos veículos de transporte
Reduzido	1- Nível do estoque operacional permanece muito abaixo da capacidade de armazenamento 2- Espaço de segurança não é utilizado	1- As mesmas que promovem estoque reduzido 2- Capacidade de armazenamento ociosa	

As consequências de um valor elevado da ocupação da tancagem são a formação de um gargalo na unidade de armazenamento e a geração de custos de sobre-estadia de veículos aguardando espaço para descarregar produto em tanque, e custos adicionais de estoque de produto em trânsito, podendo esses efeitos se propagar a montante na cadeia de suprimento à qual a unidade de armazenamento pertence.

¹⁸⁴ Logicamente essa análise será desnecessária, nos casos em que o nível de serviço reduzido já estiver constatado.

O **giro da tancagem** mede a razão entre a demanda alocada e a capacidade da unidade de armazenamento. Um giro elevado corresponde a uma capacidade de armazenamento reduzida, o que enseja maior número de operações de reabastecimento, aumentando, por sua vez, os custos de transporte e de estoque de produto em trânsito. Pode ser também resultante de aumentos na demanda alocada na unidade de armazenamento. Por outro lado, um giro da tancagem pequeno indica existência de capacidade elevada, podendo estar ociosa ou existir um nível de estoque elevado ocupando essa capacidade. O giro pequeno da tancagem também pode resultar de quedas na demanda alocada (Tabela 4.12.4).

Tabela 4.12.4: Interpretação dos Resultados do Indicador Giro da Tancagem

NÍVEL	CAUSAS	IMPLICAÇÕES POSSÍVEIS
Elevado	1- Capacidade de armazenamento reduzida	1- Aumento do custo de transporte de produtos
	2- Aumento significativo na demanda do produto	2- Aumento do custo de estoque em trânsito
Reduzido	1- Capacidade de armazenamento elevada	
	2- Redução significativa na demanda do produto	

O **giro de estoque** elevado é resultante de uma redução do nível de estoque, e vice-versa. Do mesmo modo que o giro de tancagem elevado, o giro de estoque elevado significa aumento do custo de transporte de produtos, pela necessidade de mais remessas de produto em escala inferior. A situação de baixo giro de estoque, inversamente, ocorre devido a nível elevado de estoque. Entre as variáveis que promovem aumento ou redução do nível de estoques destacamos a demanda alocada na unidade de armazenamento. Sendo o giro de estoques proporcional ao nível da demanda, a parcela de variação correspondente existirá, além das suas parcelas de variação cuja causa é de natureza logística. Na Tabela 4.12.5 relacionamos as causas e implicações relativas à variação dos indicadores giro de estoque e **excedentes de produto**.

Tabela 4.12.5: Interpretação dos Resultados dos Indicadores Giro de Estoque e Excedentes

INDICADOR	NÍVEL	CAUSAS	IMPLICAÇÕES POSSÍVEIS
GIRO DE ESTOQUE	Elevado	As mesmas que promovem estoque reduzido	Aumento do custo de transporte de produtos
	Reduzido	As mesmas que promovem estoque elevado	
EXCEDENTES	Elevado	Demanda alocada dimensionada acima do mercado local	Aumento do custo de excedentes

Por fim, o volume (acumulado) de excedentes merece acompanhamento somente quando se eleva a ponto de gerar custo agregado considerável. Isto ocorrerá principalmente em função de uma demanda local superestimada. A conseqüente queda da demanda realizada favorecerá a geração das parcelas excedentes de produto.