

5

Aplicação da Metodologia em Estudos de Caso

Neste capítulo descrevemos a aplicação da metodologia para busca de uma solução de armazenagem com base na redução do custo relevante total, cujos componentes foram detalhados anteriormente¹⁸⁵.

5.1

Descrição

A solução de armazenagem pode incluir o dimensionamento da capacidade da unidade de armazenamento (em projeto ou em ampliação), ou apenas uma revisão da política de estoques, do esquema de suprimento, ou da configuração logística do sistema estudado. A solução que não contém ampliação ou instalação da capacidade de armazenamento normalmente é aplicável quando a unidade de armazenamento já possui capacidade suficiente¹⁸⁶.

5.2

Metodologia

5.2.1

Visitas técnicas

As visitas técnicas às unidades de armazenamento existentes no sistema em estudo são de grande importância, pois é geralmente durante essas visitas que se consegue, além dos dados, aquisição de detalhes específicos (junto aos especialistas na operação do sistema), às vezes críticos¹⁸⁷, tanto na interpretação dos resultados do estudo, quanto na modelagem do problema.

¹⁸⁵ Cap. 4, seção 4.10.

¹⁸⁶ Soluções combinadas, envolvendo dimensionamento da capacidade e as revisões de política de estoques configuração e suprimento, são também aplicáveis.

¹⁸⁷ Cujas relevância foi caracterizada nas seções 4.2 §5, 4.6 §5, 4.7 §21 e em toda a seção 4.8.

Para auxílio do presente trabalho, foram realizadas visitas a uma Base de Distribuição e a dois terminais da TRANSPETRO, visando somente aquisição de algumas informações técnicas de caráter geral sobre a operação de dutos e terminais, no que se refere aos mecanismos de transferência e estocagem. Registramos visita realizada à Base de Araucária, no Paraná (20/9/2007) e aos Terminais de Guaramirim e Itajaí, em Santa Catarina (21/9/2007).

5.2.2

Simulação

Para suporte aos estudos de caso apresentados a seguir, foi disponibilizado pela Gerência de Soluções de Pesquisa Operacional da área de Tecnologia da Informação da PETROBRAS um conjunto de modelos de simulação para diversos sistemas de armazenamento existentes no território nacional. Os modelos utilizam o aplicativo PROMODEL[®].

5.2.3

Projeto fatorial de experimentos

A busca de uma solução de armazenagem adequada visa a redução do custo relevante total do sistema, procurando manter o nível de serviço desejado. A técnica de projeto fatorial de experimentos foi empregada para a prospecção da solução de armazenagem de custo mínimo. Não procuramos determinar a solução exata de mínimo custo relevante total, mas sim, buscar uma solução que apresente tal custo o mais próximo possível do mínimo¹⁸⁸. Assim, o valor exato desse custo mínimo (absoluto) permanecerá desconhecido, sendo possível conhecer a sua ordem de grandeza, entretanto. Em termos práticos, o aproveitamento da solução de armazenamento assim encontrada (indicado pelo porte das reduções de custo

¹⁸⁸ No APÊNDICE VI.3, o fluxograma intitulado “ANÁLISE DE PROJETOS FATORIAIS E MÉTODO DA SUPERFÍCIE DE RESPOSTA” propõe uma sistemática de condução de experimentos de simulação aplicando a técnica de projetos fatoriais e o método da superfície de resposta, para busca de uma aproximação do ponto ótimo.

envolvidas) permitirá nortear uma tomada de decisão consistente, conforme ilustrado nos estudos de caso a seguir¹⁸⁹.

5.3

Considerações

Para cada estudo de caso, o modelo específico utilizado fornece os valores médios de vários dos indicadores relevantes que foram descritos no capítulo anterior¹⁹⁰. Os estudos comparam diferentes cenários e focalizam os respectivos resultados dos modelos no custo relevante total. O objetivo é a busca de uma solução de armazenamento adequada¹⁹¹, envolvendo construção de capacidade adicional ou não. Teoricamente, essa solução apresenta o mínimo custo relevante total do sistema de armazenamento em estudo.

Neste capítulo será apresentado um estudo envolvendo a simples revisão da política de estoques de um sistema de armazenamento, e um estudo envolvendo o dimensionamento da capacidade de armazenamento de um terminal marítimo existente (ampliação).

A fim de se evitar a exposição de matérias de caráter confidencial, os estudos de caso apresentados foram elaborados em analogia com problemas reais da cadeia de suprimento, entretanto não relatam problemas que tenham **de fato** ocorrido. Os dados contidos nesses estudos foram examinados e modificados, conforme o caso, pelo mesmo motivo. Sendo assim, nenhum mecanismo apresentado, evento ou informação refletirá estratégia efetivamente adotada pelas áreas de planejamento ou da logística operacional da PETROBRAS.

¹⁸⁹ Na prática, essa é a forma normalmente adotada para tratamento das informações, utilizando a simulação, visando obter elementos importantes para tomada de decisão, na escolha ou avaliação das soluções de armazenagem.

¹⁹⁰ Cap 4, seções 4.9 e 4.10.

¹⁹¹ Conforme Cap 4, seção 4.11 §4.

5.4

Estudo de Caso I - Armazenamento de Diesel no Terminal de Canoas-RS e nas Bases de Ijuí, Passo Fundo e Rio Grande (RS)

Introdução: O estudo de caso a seguir tem como objetivo comparar resultados da simulação do armazenamento de diesel no Terminal de Canoas e nas Bases de Ijuí, Passo Fundo e Rio Grande, localizados no Estado do Rio Grande do Sul, ilustrando também a aplicação dos indicadores relevantes estudados anteriormente.

A análise da compensação (*trade-off*) entre os custos de manutenção de estoque e de falta de produto geralmente é um desafio com que se deparam os gestores das unidades de armazenamento no dia-a-dia operacional. A análise a seguir mostrará como uma decisão pode ser tomada com base na gestão de estoques, para minimização do **custo total**.

O Terminal (Base) de Canoas está localizado próximo à Refinaria Alberto Pasqualini (REFAP), no estado do RS. Conforme nomenclatura adotada nesta dissertação¹⁹², esta unidade de armazenamento está classificada como Base de Distribuição Primária, por receber os produtos diretamente da refinaria, por intermédio de linhas dutoviárias.

As Bases de Ijuí, e Passo Fundo são classificadas como Bases Secundárias, por receberem produtos a partir do Terminal (Base) de Canoas. O envio de produtos a essas duas Bases ocorre por ferrovia e, em menor escala, por rodovia. A Base de Rio Grande pode ser classificada como uma Base Primária que recebe produto de uma refinaria de propriedade de terceiros, por via dutoviária. Caso receba complemento de produtos vindos da Base de Canoas, no entanto, será considerada Base Secundária, do ponto de vista do Sistema PETROBRAS. Para essa operação, essa Base será abastecida por via rodoviária.

Dois produtos foram avaliados no estudo, no que tange à respectiva armazenagem. São dois tipos de diesel. Um deles possui teor de enxofre maior (Diesel B), o outro possui menor teor (Diesel D). A degradação (definida na seção 4.7) do Diesel D, mais nobre, na operação de mistura com o Diesel B, poderá ocorrer, mas não o inverso. Somente o Terminal de Canoas movimenta o Diesel

¹⁹² Cap. 4, seção 4.3 §6.

D. Isto significa que todo este produto será retirado por caminhão-tanque daquele terminal, principalmente para abastecer o mercado da região metropolitana de Porto Alegre-RS (ou será degradado para diesel B).

Descrição do Problema: O gerente de operações comerciais¹⁹³ da Base de Ijuí-RS tem se reunido constantemente com o gerente de operações¹⁹⁴ do sistema de dutos e terminais da PETROBRAS na Região Sul – área RS, a fim de discutir sobre possível melhoria no nível de atendimento dos pedidos dos clientes na área de abrangência de sua Base. O gerente da Base de Ijuí sustenta que, devido a um nível de estoques freqüentemente reduzido, a Base incorre diariamente em perda de vendas de diesel B a clientes em escala significativa, com a conseqüente perda da margem de lucro associada, na maioria das vezes, já que a maioria dos clientes em seu portfólio possui meios para retirar o produto de outra fonte de suprimento.

Por sua vez, o gerente de terminais e dutos do RS argumenta que o nível de segurança de 2 dias de estoque, adotado nas Bases secundárias do RS, deveria ser suficiente para garantir o abastecimento da Base de Ijuí sem grandes perdas, já que o produto chega por ferrovia em 24h, normalmente.

O gerente da Base de Ijuí, entretanto, insiste na necessidade de análise do seu problema, informando que a média do nível de estoques naquela Base fica bem abaixo do patamar correspondente a 2 dias de atendimento, apesar da política de estoques adotada.

Apesar de compreendê-lo, o gerente de terminais e dutos do RS afirma que é pouco provável que o transporte ferroviário possa aumentar a sua eficiência, a ponto de reduzir o tempo de viagem para entrega do produto à Base de Ijuí, medida que permitiria aumentar a disponibilidade de produto na Base. Promete, ainda assim, analisar uma alternativa para sanar a questão.

Por ocasião da presença de alguns profissionais da área de planejamento operacional da logística em uma dessas reuniões, a questão levantada pelo gerente da Base de Ijuí despertou interesse por parte desses profissionais, que prometeram encaminhar o problema ao seu gerente geral. Uma das medidas sugeridas era aumentar o nível do estoque de segurança da Base. O receio de se incorrer em aumento excessivo do custo dos estoques, aliado à incerteza quanto à efetiva

¹⁹³ São denominações de cargos em caráter ilustrativo, usadas para este estudo de caso, e que podem não existir na situação real.

¹⁹⁴ Idem.

melhora do nível de serviço da Base com a adoção dessa medida, eram os obstáculos imediatamente apresentados. A dificuldade de se estabelecer qual seria o novo patamar do estoque de segurança adequado era outra objeção apresentada.

O emprego da modelagem de simulação das operações de armazenamento e transferência de produto no sistema de terminais e Bases do RS permitiu aos profissionais da área de planejamento operacional da logística estudar a adoção de diversas políticas de estoque aplicadas à Base de Ijuí, e qual o seu impacto no desempenho daquela Base. A essa altura, o gerente da Base de Passo Fundo passou a se interessar também pelos resultados apontados no estudo, com relação ao nível de serviço de sua Base. Embora não existisse originalmente a sua preocupação, por considerar satisfatório o nível de serviço em Passo Fundo, havia agora a oportunidade de se vislumbrar potencial melhoria, por meio da simulação. Por fim, o gerente de terminais e dutos do RS também se interessou pelo estudo, que permitiria apontar impactos em todas as unidades de armazenamento do sistema, além de uma estimativa de custo total no sistema, não somente das Bases individualmente.

A busca de uma solução integrada, sem o risco de se incorrer nos custos excessivos de estoques no sistema real, motivou a aplicação da simulação à análise do problema.

Solução do Problema: O nível de serviço reduzido pode ser diagnosticado como resultado de redução do estoque operacional de ciclo (giro) da unidade de armazenamento, o que, por sua vez, pode advir de diversas causas, algumas delas relacionadas ao recebimento de produto na Base (intervalos longos, lotes de volume pequeno, ou pedidos atrasados). Outras causas podem ser atribuídas à logística interna, ou à expedição de produto pela Base.

Inicialmente foi efetuada a simulação do sistema considerando um **cenário de referência**, correspondente à política de estoques vigente, a qual estabelece os níveis dos estoques de segurança de 1 dia para as Bases primárias (Canoas e Rio Grande) e de 2 dias para as Bases secundárias (Ijuí e Passo Fundo). Foram executadas 10 replicações dessa simulação. As médias dos indicadores relevantes obtidas dessas replicações estão na Tabela 5.4.1¹⁹⁵.

¹⁹⁵ Os números apresentados foram averiguados, de modo que não caracterizem a situação atual, e não trazem informação que possa refletir qualquer vulnerabilidade ou tomada de decisão relativa

Tabela 5.4.1: Principais indicadores nas Bases do sistema do RS

INDICADOR	CANOAS	IJUÍ	PASSO FUNDO	RIO GRANDE
Tancagem disponível (m3)	8908,0	3629,0	3023,0	1216,0
Nível médio dos estoques (m3)	2583,0	568,4	499,2	410,4
Estoque de segurança (dias)	1,0	2,0	2,0	1,0
Estoque médio (dias)	2,7	3,6	1,7	1,3
Recebimento por duto (m3/dia)	1621,3	0,0	0,0	0,0
Recebimento por ferrovia ou rodovia (m3/dia)	0,0	283,4	323,8	0,0
Venda efetivada (m3/dia)	1024,9	283,4	323,8	263,0
Nível de serviço (%)	99,32	89,51	95,50	97,79
Percentual de dias de falta (%)	2,43	15,28	8,53	9,05

Os resultados acima indicam claramente a necessidade de melhoria do nível de serviço da Base de Ijuí. O nível médio do estoque na Base de Ijuí (568,4 m³) está menor do que o volume correspondente ao estoque de segurança de 2 dias de atendimento da demanda local ($2 \times 316 = 632 \text{ m}^3$), confirmando o que disse o gerente daquela Base. E por que motivo isso ocorre?

Analisando a variável demanda local (vide ficha técnica) da Base de Ijuí, vemos que ela está definida como uma variável aleatória, de distribuição normal com média igual a 316 m³/dia e coeficiente de variação igual a 33,26%, ou seja, o desvio-padrão é quase a terça parte da média da demanda. Trata-se de variação significativa, o que implica a ocorrência de flutuações grandes da demanda, e em todas as variáveis dela dependentes, incluindo, é claro, o nível de estoque. Situação semelhante pode ser constatada na base de Passo Fundo, embora de menor impacto, em parte devido a seu coeficiente de variação da demanda ser menor do que o da Base de Ijuí. Já as duas Bases primárias, por receberem o produto por linha dutoviária próxima da refinaria de origem, não são sujeitas às flutuações de estoque experimentadas pelas Bases secundárias abastecidas por ferrovia (transporte de confiabilidade menor).

As médias dos principais indicadores de custo, obtidas das replicações da simulação considerando o cenário de referência, estão na Tabela 5.4.2¹⁹⁶. Os números mais elevados estão associados às perdas da margem de lucro, resultado direto das perdas de vendas (redução do nível de serviço).

aos sistemas logísticos estudados, possuindo caráter meramente ilustrativo, para fins deste estudo de caso.

¹⁹⁶ Os números apresentados foram averiguados, de modo que não caracterizem a situação atual, e não trazem informação que possa refletir qualquer vulnerabilidade ou tomada de decisão relativa

Tabela 5.4.2: Custos relevantes nas Bases do sistema do RS

CUSTOS, R\$/dia	CANOAS	IJUÍ	PASSO FUNDO	RIO GRANDE	TOTAL
Estoque Médio	1381,88	212,78	186,86	153,63	1935,15
Estoque em Trânsito	0,00	126,53	145,46	0,00	271,99
Sobras e Sobre-estadias	15,70	0,00	0,00	3,03	18,73
Falta Recuperável	11,15	3,22	2,54	0,58	17,48
Degradação	545,99	0,00	0,00	0,00	545,99
Perda da Margem de Lucro	2741,99	2486,58	1151,62	446,08	6826,27
Custo ou Perda Geral	4696,70	2829,11	1486,48	603,32	9615,61
Gastos com Fretes	0,00	3037,80	4125,17	0,00	7162,96
TOTAL	4696,70	5866,91	5611,65	603,32	16778,57

Trata-se, em princípio, de um problema de definição da política de estoques adequada para aplicação nas unidades de armazenamento do sistema do RS. Política adequada se entende por aquela que permite minimizar custos (com nível de serviço satisfatório).

Análise dos Resultados: A busca da solução é feita pela simulação do sistema sob vários cenários, correspondentes a diferentes combinações de níveis de estoque de segurança (expressos em número de dias de estoque) estabelecidos para as Bases de Canoas, Ijuí e Passo Fundo. No modelo de simulação utilizado, esses níveis de estoque de segurança são fixados como parâmetros, variando conforme cada cenário analisado. Como uma simplificação do problema, as combinações são feitas apenas para o produto diesel B (maior teor de enxofre), deixando inalterado o nível do estoque de segurança do diesel B em Rio Grande (Base abastecida de refinaria de terceiros).

As indicações anteriores levam a uma revisão do nível de estoques nas Bases de Ijuí e Passo Fundo. A análise dos custos relevantes indica a possibilidade de ajuste do *trade-off*¹⁹⁷ entre os custos de manutenção de estoque e de falta de produto a fim de buscar uma solução de mínimo custo relevante total, integrada entre as unidades de armazenamento do sistema do RS. Neste ponto, surge a questão sobre qual das combinações dos três parâmetros de estoque de segurança

aos sistemas logísticos estudados, possuindo caráter meramente ilustrativo, para fins deste estudo de caso.

¹⁹⁷ Como a modelagem de simulação permite o cálculo do custo total relevante, esse resultado pode ser diretamente utilizado na análise, ficando o ajuste do *trade-off* acima efetuado automaticamente pela minimização do custo total.

produz uma solução de mínimo custo do sistema (aproximada)¹⁹⁸. Para buscar uma boa aproximação dessa solução, foi utilizada a técnica de **projeto fatorial de experimentos** (cada simulação utilizando o modelo do sistema RS será considerada como um experimento).

Verifica-se, de início, que as simulações apresentam reduções do custo relevante total, quando se aumentam os parâmetros de estoque de segurança nas Bases de Ijuí e Passo Fundo. Assim, foi criado um **ponto central** do projeto fatorial de referência, cujos níveis de estoque de segurança do diesel B são iguais aos níveis do cenário de referência **acrescidos** de 1 dia, isto é, 2 dias para a Base primária de Canoas e 3 dias para as Bases secundárias (Ijuí e Passo Fundo) (permanecendo Rio Grande com 1 dia, inalterado em todos os cenários, assim como o estoque de segurança do diesel D, em Canoas).

Os 9 cenários, contendo as combinações dos fatores em cada experimento listadas na Tabela 5.4.3, foram analisados, sendo efetuadas 10 replicações da simulação para cada um deles. O último cenário corresponde ao ponto central, acima citado.

Tabela 5.4.3: Estoques de Segurança (dias)

Cenário	Canoas	Ijuí	Passo Fundo
1	1	2	2
2	3	2	2
3	1	4	2
4	3	4	2
5	1	2	4
6	3	2	4
7	1	4	4
8	3	4	4
central	2	3	3

Conforme a modelagem de simulação utilizada, o indicador de custo total, definido como a soma dos custos relevantes (Tabela 5.4.2), foi escolhido como a variável a ser minimizada¹⁹⁹.

¹⁹⁸ A modelagem de simulação não busca diretamente soluções de mínimo custo. Entretanto ela ajuda a delimitar regiões próximas dos valores ótimos da função de custo e dos níveis de serviço melhorados.

¹⁹⁹ Os resultados do valor do custo total correspondente a cada simulação se encontram no APÊNDICE IV – Tabela IV.i.1.

Recorrendo-se à técnica de projeto fatorial de experimentos, a análise gráfica dos efeitos indicava, de início, um **modelo linear de regressão ajustado** para o custo total, em função dos estoques de segurança nas três Bases (Figura 5.4.1). Apareceu, entretanto, um parâmetro significativo de curvatura influente no modelo de regressão ajustado, conforme indicado pela **análise da variância** do modelo (Tabela 5.4.4). Essa indicação, por sua vez, sugeria que a combinação de níveis de estoque de segurança do ponto central (Canoas, 2 dias; Ijuí e Passo Fundo, 3 dias) já se achava próxima da região que contém a solução de mínimo custo, objeto da busca.

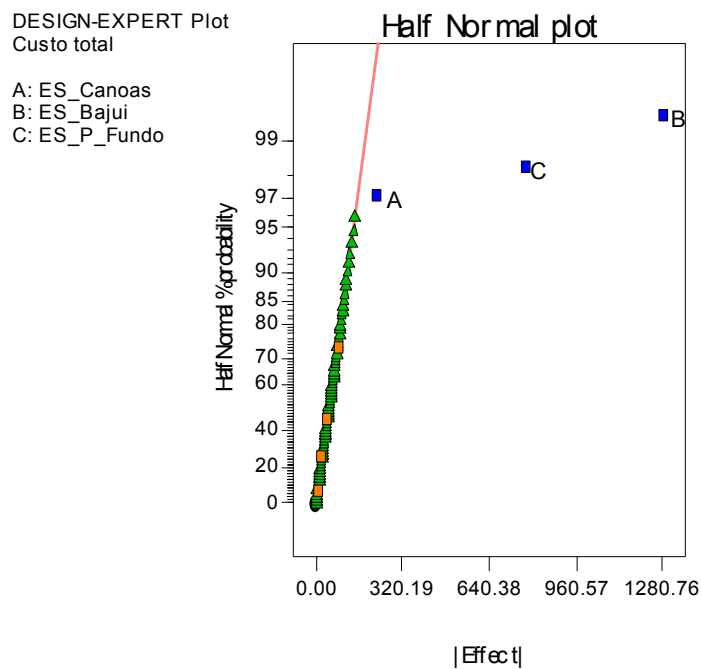


Figura 5.4.1: Gráfico de probabilidade normal

Tabela 5.4.4: Análise de variância do modelo fatorial – Indicador custo total

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F-Value	Prob > F	
Model	4,58E+10	3	1,53E+10	152.62	< 0.0001	significant
ES_Canoas	1,05E+09	1	1,05E+09	10.53	0.0017	
ES_Ijuí	3,28E+10	1	3,28E+10	327.88	< 0.0001	
ES_Passo Fundo	1,20E+10	1	1,20E+10	119.45	< 0.0001	
Curvature	2,33E+09	1	2,33E+09	23.26	< 0.0001	significant
Residual	8,51E+09	85	1,00E+08			
Lack of Fit	1,82E+08	4	45448.84	0.44	0.7777	not significant
Pure Error	8,32E+09	81	1,03E+08			
Cor Total	5,66E+10	89				

Recorrendo-se ao **método da superfície de resposta**, foram adicionados mais 6 experimentos²⁰⁰ ao projeto central, correspondentes aos cenários definidos na Tabela 5.4.5, efetuando-se 10 replicações da simulação para cada um deles. A idéia agora é o ajuste de um modelo que inclua os termos responsáveis pela curvatura indicada na análise de variância do projeto fatorial anterior. O novo projeto é chamado **projeto central composto**²⁰¹.

Tabela 5.4.5: Estoques de Segurança (dias)

Cenário	Canoas	Ijuí	Passo Fundo
9	0,32	3,00	3,00
10	3,68	3,00	3,00
11	2,00	1,32	3,00
12	2,00	4,68	3,00
13	2,00	3,00	1,32
14	2,00	3,00	4,68

Obteve-se, nesta fase, um modelo quadrático para o custo total, em função dos estoques de segurança nas três Bases, com excelente ajuste ($R^2=0,8363$) de todos os termos (Tabela 5.4.6).

²⁰⁰ Também chamados de pontos axiais.

²⁰¹ Os resultados do valor do custo total correspondente a cada simulação se encontram no APÊNDICE IV – Tabela IV.i.2.

Tabela 5.4.6: Análise de variância do modelo quadrático reduzido – Indicador custo total

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Model	8,83E+10	5	1,77E+10	147.08	< 0.0001	significant
ES_Canoas	2,74E+09	1	2,74E+09	22.78	< 0.0001	
ES_Ijuí	6,28E+10	1	6,28E+10	522.89	< 0.0001	
ES_Passo Fundo	1,81E+10	1	1,81E+10	150.74	< 0.0001	
ES_Ijuí ²	4,15E+09	1	4,15E+09	34.59	< 0.0001	
ES_Passo Fundo ²	2,11E+09	1	2,11E+09	17.60	< 0.0001	
Residual	1,73E+10	144	1,20E+08			
Lack of Fit	7,14E+08	9	79313.04	0.65	0.7560	not significant
Pure Error	1,66E+10	135	1,23E+08			
Cor Total	1,06E+11	149				

A expressão do custo total neste modelo quadrático, em função das variáveis naturais que representam os estoques de segurança, é dada por:

$$\text{Custo} = 21926,93 - 141,53 \cdot \text{ES_Canoas} - 1909,00 \cdot \text{ES_Ijuí} - 1242,16 \cdot \text{ES_Passo Fundo} + 205,16 \cdot \text{ES_Ijuí}^2 + 146,35 \cdot \text{ES_Passo Fundo}^2$$

Ou, em termos das respectivas variáveis codificadas (fatores x_A, x_B, x_C) para os estoques de segurança em Canoas (A), Ijuí (B) e Passo Fundo (C):

$$\text{Custo}(x_A, x_B, x_C) = 15354,01 - 141,53x_A - 678,03x_B - 364,04x_C + 205,16x_B^2 + 146,35x_C^2$$

Como a verdadeira função de custo não é conhecida, e o modelo de regressão acima não representa a solução **definitiva**, em princípio continua sendo válida a busca por uma nova função que possua um mínimo relativo, ou então, por novo ponto central, correspondente a novo projeto fatorial. Para a busca desse novo ponto central, primeiramente foram calculados os incrementos para cada variável da equação acima, obtendo-se os valores abaixo:

	ES_Canoas (A)	ES_Ijuí (B)	ES_P_Fundo (C)
$\partial f / \partial x_j$	-141,53	-678,03	-364,04
Incremento	0,209	1,000	0,537

Na Tabela 5.4.7 são listados as combinações resultantes da aplicação dos incrementos, e os resultados dos respectivos experimentos²⁰², relativamente à variável custo total. Verifica-se que o menor valor do custo é alcançado com a terceira combinação dos parâmetros de estoque de segurança (Experimento 3). Os novos valores dos parâmetros respectivos caracterizam agora o novo ponto central, mais próximo da solução de mínimo custo total.

Novo ponto central:

ES_Canoas	2,6
ES_Ijuí	6,0
ES_Passo Fundo	4,6

Tabela 5.4.7: Combinações de fatores geradas e o custo total correspondente obtido da nova simulação

Experimento	ES_Canoas (A)	ES_Ijuí (B)	ES_P_Fundo (C)	ES_Ijuí ² (B ²)	ES_P_Fundo ² (C ²)	Custo total
0	2,00	3,00	3,00	9,00	9,00	15322,72
1	2,21	4,00	3,54	16,00	12,51	14686,20
2	2,42	5,00	4,07	25,00	16,60	14544,12
3	2,63	6,00	4,61	36,00	21,26	14363,72
4	2,83	7,00	5,15	49,00	26,50	14420,70

A partir do novo ponto central, gera-se novo projeto fatorial composto para análise com o método da superfície de resposta²⁰³. Desta vez, o resultado da análise de variância (Tabela 5.4.8) revela que todos os coeficientes do modelo não são significativos. Isto quer dizer que qualquer ponto dentro da região de experimentação pode ser considerado como solução de custo mínimo. Os valores dos parâmetros de estoque de segurança no novo ponto central (Canoas, 2,6; Ijuí, 6,0; e Passo Fundo, 4,6) podem ser eleitos como os pontos da solução de custo mínimo, em termos práticos.

²⁰² Para cada linha, o valor do custo total corresponde a uma média dos resultados de 10 simulações.

²⁰³ Os resultados do valor do custo total correspondente a cada simulação se encontram no APÊNDICE IV – Tabela IV.i.3.

Tabela 5.4.8: Análise de variância do modelo com interação de 2 fatores (2FI) – Indicador custo total

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F		
Model	6,37E+08	6	1,06E+08	1.35	0.2385	not significant	
ES_Canoas	1,91E+08	1	1,91E+08	2.43	0.1211		
ES_Ijuí	58105.63	1	58105.63	0.74	0.3912		
ES_Passo Fundo	10.18	1	10.18	1,30E-01	0.9909		
ES_Canoas x ES_Ijuí	1,84E+08	1	1,84E+08	2.35	0.1278		
ES_Canoas x ES_Passo Fundo	22261.09	1	22261.09	0.28	0.5953		
ES_Ijuí x ES_Passo Fundo	1,81E+08	1	1,81E+08	2.31	0.1311		
Residual	1,12E+10	143	78538.56				
Lack of Fit	4,34E+08	8	54288.80	0.68	0.7095		not significant
Pure Error	1,08E+10	135	79975.58				
Cor Total	1,19E+10	149					

De posse dos resultados do estudo, a próxima medida poderá ser o monitoramento do sistema com a aplicação da nova política de estoques (com os novos parâmetros de estoque de segurança) no sistema real. A diretriz foi obtida sem que se incorresse nos riscos e inconvenientes de se operar com o sistema real em caráter de teste. Além disso, existe agora respaldo com base estatística para a condução da nova política de estoques e, portanto, maior confiança no sucesso dessa medida.

Tabela 5.4.9: Principais indicadores nas Bases do sistema do RS – após a solução de armazenagem

INDICADOR	CANOAS	IJUI	PASSO FUNDO	RIO GRANDE
Tancagem Disponível (m3)	8908,0	3629,0	3023,0	1216,0
Nível Médio dos Estoques (m3)	3670,5	1631,3	1184,1	419,9
Estoque de Segurança (dias)	2,6	6,0	4,6	1,0
Estoque Médio (dias)	3,7	6,1	3,3	1,3
Recebimento por Duto (m3/dia)	1678,8	0,0	0,0	0,0
Recebimento por Ferrovia ou Rodovia (m3/dia)	0,0	314,6	339,1	0,0
Venda Efetivada (m3/dia)	1032,9	314,5	339,1	262,6
Nível de Serviço (%)	99,69	99,15	99,35	97,85
Percentual de Dias de Falta (%)	1,17	1,15	1,16	8,56

Tabela 5.4.10: Custos relevantes nas Bases do sistema do RS – após a solução de armazenagem

CUSTOS, R\$/dia	CANOAS	IJUI	PASSO FUNDO	RIO GRANDE	TOTAL
Estoque Médio	1807,81	611,31	443,61	157,21	3019,94
Estoque em Trânsito	0,00	140,47	152,01	0,00	292,48
Sobras e Sobre-estadias	11,71	0,01	0,00	3,20	14,92
Falta Recuperável	8,81	0,26	0,36	0,56	10,00
Degradação	379,71	0,00	0,00	0,00	379,71
Perda da Margem de Lucro	2168,42	201,12	165,27	433,94	2968,75
Custo ou Perda Geral	4376,46	953,17	761,26	594,91	6685,80
Gastos com Fretes	0,00	3372,08	4319,58	0,00	7691,67
TOTAL	4376,46	4325,26	5080,84	594,91	14377,47

Conclusão: Neste estudo de caso, o emprego da simulação permitiu estudar a adoção de diversas políticas de estoque de diesel em três Bases de Distribuição do sistema de armazenamento do RS, proporcionando uma noção dos respectivos níveis de estoque adequados, de modo a poder minimizar o custo relevante total do sistema. A prova máxima será a verificação da ocorrência dos resultados da simulação no sistema real das Bases em estudo, tanto do custo total reduzido quanto dos níveis de serviço melhorados (Tabelas 5.4.9 e 5.4.10).

5.5

Estudo de Caso II – Ampliação da Capacidade de Armazenamento de Diesel em um Terminal Marítimo na Região NE

Introdução: Neste estudo de caso, os resultados da simulação do armazenamento em um Terminal marítimo existente fornecem uma indicação da capacidade adequada para sua operação de armazenamento, considerando a demanda local e o tempo de reposição do produto.

Descrição do problema: Um Terminal marítimo, localizado na região NE do Brasil, terá sua capacidade de armazenamento de diesel ampliada. O Terminal é abastecido por cabotagem, por navios-tanque vindos da região SE. A Base de Distribuição adjacente possui apenas uma estrutura de recebimento de produto em plataformas de carregamento de caminhão-tanque, abastecidas por uma pequena linha de produtos claros ligada aos tanques do Terminal. A capacidade atual de armazenamento do Terminal (2000 m³) é considerada insuficiente para a

operação, considerando ainda, que a demanda alocada deverá crescer nos próximos anos (estimativa: 193 m³/dia). O índice de falta de produto é reportado como elevado pelos profissionais da área de *marketing*. As perdas de venda irrecuperáveis ocorrem quando há escassez de produto, pois os postos de revenda nos municípios situados na periferia da área de influência do Terminal passam a retirar o produto de uma Base primária vizinha, abastecida por refinaria.

Solução do problema: O exame da logística atual revela a existência de intervalos longos de reposição do estoque do terminal (20 dias), em face de um tempo de viagem de navios-tanque de suprimento também longo (17 dias). Por esse motivo, um estoque de segurança relativamente elevado (7,5 dias de demanda) é estabelecido como política de estoques aplicada ao Terminal. Entretanto, o patamar médio dos estoques fica permanentemente abaixo do estoque de segurança, o que caracteriza a fragilidade logística do sistema. O estoque total gira quase 3 vezes por mês, resultando em aumento dos custos de reposição. As faltas de produto ocorrem em grande quantidade, devido ao estoque reduzido.

A equipe de logística operacional pode disponibilizar navios com tempo de viagem de até no mínimo 5 dias, sem que seja necessário reverter programação com conseqüente criação de outros custos logísticos indiretos. Por outro lado, a capacidade de armazenamento reduzida obriga diversas vezes à espera de navios-tanque para descarregar produto, gerando elevados custos de sobre-estadia. Reduzir o tempo de entrega de produto no Terminal acarretaria crescimento desses custos de sobre-estadia, devido à capacidade de armazenamento limitada.

O exame preliminar dos parâmetros do modelo indica duas medidas que podem proporcionar a redução do custo relevante total do sistema de armazenamento. A primeira é a redução do tempo de viagem (e conseqüentemente, do intervalo de reposição de produto), permitindo a redução dos custos de falta de produto decorrentes. A segunda medida é a própria ampliação da capacidade de armazenamento, reduzindo os custos de sobre-estadia, por permitir mais espaço para recebimento de produto sob menor risco de atingir o limite dessa capacidade.

Análise dos resultados: A técnica de **projeto fatorial** de experimentos (cada simulação utilizando a modelagem do sistema será considerada como um experimento) permitiu agilidade na prospecção da solução de custo mínimo do sistema de armazenamento. De início, é criado o projeto fatorial inicial, cujos fatores são o **estoque de segurança**, a **capacidade de tancagem** e o **tempo de viagem** para reposição do estoque. Os 9 cenários, contendo as combinações dos fatores (Tabela 5.5.1), foram analisados, sendo efetuadas 10 replicações da simulação para cada um deles²⁰⁴. O último cenário corresponde ao **ponto central**.

Na primeira etapa da análise, o ajuste de um modelo linear de regressão indicou forte dependência da variável de resposta (custo total) em relação ao tempo de viagem (Tabela 5.5.2). Em segundo lugar vem o fator capacidade (cuja indicação de nível é o foco do problema de dimensionamento), com impacto significativo na resposta, segundo o modelo, enquanto que o estoque de segurança não entra com efeito (estatisticamente) significativo, no modelo de regressão.

Tabela 5.5.1: Projeto fatorial inicial

Estoque de Segurança (dias)	Capacidade (m ³)	Tempo de viagem (dias)
6,5	1800	16
8,5	1800	16
6,5	2200	16
8,5	2200	16
6,5	1800	18
8,5	1800	18
6,5	2200	18
8,5	2200	18
7,5	2000	17

Tabela 5.5.2: Projeto fatorial inicial – Análise de variância de modelo linear

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Model	1,70E+11	2	8,48E+10	104.49	< 0.0001	significant
Capacidade (m ³)	6,44E+10	1	6,44E+10	79.44	< 0.0001	
Tempo de viagem (dias)	1,05E+11	1	1,05E+11	129.54	< 0.0001	
Curvature	3,02E+09	1	3,02E+09	3.72	0.0570	not significant
Residual	6,98E+10	86	8,11E+08			
Lack of Fit	1,08E+09	5	2,16E+08	0.25	0.9362	not significant
Pure Error	6,87E+10	81	8,48E+08			
Cor Total	2,42E+11	89				

²⁰⁴ Os resultados do valor do custo total correspondente a cada simulação se encontram no APÊNDICE IV – Tabela IV.ii.1.

Com base nessa indicação, aplica-se a técnica de *steepest descent*, para determinar novo ponto central do projeto fatorial, ao longo de uma trajetória eficiente. O resultado da busca se encontra na Tabela 5.5.3²⁰⁵. Observa-se progresso da solução, em função dos dois fatores até a 12ª linha da tabela, quando o tempo de viagem assume o seu valor mínimo permitido na prática (5 dias, correspondente a um intervalo de reposição de 6 dias). A partir deste ponto, apenas o valor da capacidade varia, em cada experimento e os avanços no valor desse fator são maiores. Com o tempo de viagem fixado em 5 dias, continua-se o avanço até a 15ª linha, que corresponde ao valor mínimo do custo obtido empregando-se a técnica de *steepest descent*, nessa fase. O novo ponto central corresponde aos seguintes valores dos fatores: Estoque de Segurança, 7,5 dias - Capacidade, 6000 m³ - Tempo de viagem, 5 dias.

Tabela 5.5.3: Método *steepest descent* – primeira etapa

fator	Estoque de Segurança (dias)	Capacidade (m ³)	Tempo de viagem (dias)	Custo Total (R\$/dia)
coeficiente β_i		-897,52	1146,13	59590,28
incremento Δx_i	0,000	0,783	-1,000	
δ	1	200	1	
central	7,50	2000	17,00	60108,25
1	7,50	2157	16,00	57734,14
2	7,50	2313	15,00	56629,00
3	7,50	2470	14,00	55680,99
4	7,50	2626	13,00	55567,39
5	7,50	2783	12,00	54824,16
6	7,50	2940	11,00	53531,27
7	7,50	3096	10,00	53584,51
8	7,50	3253	9,00	54498,05
9	7,50	3410	8,00	53901,66
10	7,50	3566	7,00	51787,67
11	7,50	3723	6,00	47885,32
12	7,50	3879	5,00	39710,03
13	7,50	4079	5,00	36979,98
14	7,50	5000	5,00	24046,87
15	7,50	6000	5,00	16258,69
16	7,50	7000	5,00	16263,71
17	7,50	8000	5,00	16263,97

²⁰⁵ Para cada linha, o valor do custo total corresponde a uma média dos resultados de 10 simulações.

Tendo em vista a redução considerável do custo total, em relação ao projeto fatorial inicial, cria-se novo projeto fatorial a partir do novo ponto central. O **espaço de segurança** é incluído como quarto fator no novo projeto, visando proporcionar abrangência maior dentro do contexto da gestão de estoques, aplicável ao processo de dimensionamento da capacidade. Foram analisados 17 cenários, contendo as novas combinações de fatores (Tabela 5.5.4), sendo efetuadas 10 replicações da simulação para cada um deles²⁰⁶. O último cenário corresponde ao **ponto central**.

De posse dos resultados das simulações, procede-se ao ajuste do novo modelo linear de regressão, cujo resultado indica o tempo de viagem como o único fator de efeito significativo sobre o custo total (Tabela 5.5.5).

Tabela 5.5.4: Projeto fatorial – primeira etapa

Estoque de Segurança (dias)	Capacidade (m ³)	Espaço de segurança (dias)	Tempo de viagem (dias)
6,5	5800	0,5	4,5
8,5	5800	0,5	4,5
6,5	6200	0,5	4,5
8,5	6200	0,5	4,5
6,5	5800	1,5	4,5
8,5	5800	1,5	4,5
6,5	6200	1,5	4,5
8,5	6200	1,5	4,5
6,5	5800	0,5	5,5
8,5	5800	0,5	5,5
6,5	6200	0,5	5,5
8,5	6200	0,5	5,5
6,5	5800	1,5	5,5
8,5	5800	1,5	5,5
6,5	6200	1,5	5,5
8,5	6200	1,5	5,5
7,5	6000	1,0	5,0

²⁰⁶ Os resultados do valor do custo total correspondente a cada simulação se encontram no APÊNDICE IV – Tabela AIV.ii.2.

Tabela 5.5.5: Projeto fatorial - primeira etapa – Análise de variância de modelo linear

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Model	2,65E+11	1	2,65E+11	182.45	< 0.0001	Significant
Tempo de viagem (dias)	2,67E+11	1	2,67E+11	183.95	< 0.0001	
Curvature	2,59E+10	1	2,59E+10	17.87	< 0.0001	significant
Residual	2,28E+11	157	1,45E+09			
Lack of Fit	1,74E+10	14	1,24E+09	0.84	0.6212	not significant
Pure Error	2,10E+11	143	1,47E+09			
Cor Total	5,18E+11	159				

O tempo de viagem passa a ter seu valor fixado em 5 dias, não mais sendo analisado como fator nos projetos fatoriais subseqüentes. Com isso, passa-se à prospecção da solução de custo mínimo dentro do subgrupo de experimentos correspondente ao tempo de viagem de 5 dias, de menor custo do que os dos subgrupos de valor superior do tempo de viagem (conforme a Tabela 5.5.3). Procede-se então à criação de novo projeto fatorial em substituição ao anterior, tendo como fatores, estoque de segurança, capacidade de tancagem e espaço de segurança (Tabela 5.5.6)²⁰⁷. O último cenário corresponde ao **ponto central**.

Tabela 5.5.6: Projeto fatorial reduzido – primeira etapa

Estoque de Segurança (dias)	Capacidade (m ³)	Espaço de segurança (dias)
6,5	5800	0,5
8,5	5800	0,5
6,5	6200	0,5
8,5	6200	0,5
6,5	5800	1,5
8,5	5800	1,5
6,5	6200	1,5
8,5	6200	1,5
7,5	6000	1,0

Repetindo-se o procedimento de ajuste de um modelo linear de regressão, observa-se, nessa fase, dependência significativa da variável de resposta somente em relação ao estoque de segurança (Tabela 5.5.7). Aplica-se então pela segunda vez a técnica de *steepest descent*, para determinar novo ponto central do projeto

²⁰⁷ Para cada um dos 9 cenários da Tabela 5.5.6 foram efetuadas 10 simulações. Os resultados do valor do custo total correspondente a cada simulação se encontram no APÊNDICE IV – Tabela IV.ii.3.

fatorial, ao longo de nova trajetória eficiente. O resultado da busca se encontra na Tabela 5.5.8²⁰⁸. O experimento da 4ª linha da tabela apresenta o menor custo total, obtido empregando-se a técnica de *steepest descent*, nessa fase. O novo ponto central corresponde aos seguintes valores dos fatores: Estoque de Segurança, 3,5 dias - Capacidade, 6000 m³ - Espaço de Segurança, 1 dia (o Tempo de viagem, agora exógeno ao modelo, está fixado em 5 dias). Note-se que o valor para a capacidade de armazenamento é o mesmo (6000 m³) nesta última solução e na anterior, que adotava estoque de segurança de 7,5 dias.

Tabela 5.5.7: Projeto fatorial reduzido - primeira etapa – Análise de variância de modelo linear

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Model	5,89E+08	3	1,96E+08	2.77	0.0469	significant
Estoque de Segurança (dias)	5,84E+08	1	5,84E+08	8.26	0.0052	
Capacidade (m ³)	2200.36	1	2200.36	0.031	0.8605	
Espaço de segurança (dias)	4592.88	1	4592.88	0.065	0.7996	
Curvature	2859.86	1	2859.86	0.040	0.8412	not significant
Residual	5,59E+09	79	70765.85			
Lack of Fit	4401.23	4	1100.31	0.015	0.9996	not significant
Pure Error	5,59E+09	75	74481.35			
Cor Total	6,18E+09	83				

Tabela 5.5.8: Método *steepest descent* – segunda etapa

fator	Estoque de Segurança (dias)	Capacidade (m ³)	Espaço de segurança (dias)	Custo Total (R\$/dia)
coeficiente β_i	88,94			16276,81
incremento Δx_i	-1,00	0,00	0,00	
δ	1	200	0,50	
central	7,50	6000	1,00	16258,78
1	6,50	6000	1,00	16182,57
2	5,50	6000	1,00	16119,23
3	4,50	6000	1,00	16073,68
4	3,50	6000	1,00	16051,26
5	2,50	6000	1,00	16057,15
6	1,50	6000	1,00	16095,24
7	0,50	6000	1,00	16165,18

²⁰⁸ Para cada linha, o valor do custo total corresponde a uma média dos resultados de 10 simulações.

Tabela 5.5.9: Intervalo de confiança para o indicador custo total – Estudo do Terminal do NE

<i>Média de Custo total (R\$/dia)</i>	<i>Desvio-padrão (R\$/dia)</i>	<i>n</i>	<i>α</i>	<i>t_{n-1,1-α/2}</i>	<i>Limite inferior (R\$/dia)</i>	<i>Limite superior (R\$/dia)</i>	<i>meia-largura (R\$/dia)</i>	<i>% meia-largura sobre a média</i>
16258,78	267,77	10	5%	2,262	16067,23	16450,34	191,55	1,2%
16051,47	268,47	10	5%	2,262	15859,42	16243,52	192,05	1,2%

Deste modo, a redução de custo obtida na segunda etapa do método se deve essencialmente a uma redução no custo de estoques. A Tabela 5.5.9 mostra que não existe diferença estatisticamente significativa entre os valores médios do custo total de cada uma das duas soluções obtidas pelo método empregado. A criação de novo projeto fatorial a partir do novo ponto central, determinado na Tabela 5.5.8²⁰⁹ (Estoque de Segurança de 3,5 dias) desta vez não produziu ajuste de um modelo linear de regressão significativo (Tabela 5.5.10), indicando que a solução atual não experimenta melhoria significativa, em termos estatísticos. O indicador de nível de serviço fornece outro meio para caracterizar essa situação, em face do seu valor suficientemente alto (99,63%) correspondente ao ponto central Estoque de Segurança, 7,5 dias - Capacidade, 6000 m³ - Tempo de viagem, 5 dias, determinado na 1ª etapa do método *steepest descent*.

Tabela 5.5.10: Projeto fatorial reduzido - segunda etapa – Análise de variância de modelo linear

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>DF</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F Value</i>	<i>Prob > F</i>	
Model	1,18E+05	3	3,94E+04	0,55	0,6523	not significant
Estoque de Segurança (dias)	2,27E+04	1	2,27E+04	0,31	0,5764	
Capacidade (m ³)	4,84E+04	1	4,84E+04	0,67	0,4155	
Espaço de segurança (dias)	5,07E+04	1	5,07E+04	0,7	0,4044	
Curvature	1,37E+04	1	1,37E+04	0,19	0,6639	not significant
Residual	6,07E+06	84	7,22E+04			
Lack of Fit	2,14E+05	4	53440,33	0,73	0,5739	not significant
Pure Error	5,85E+06	80	73171,88			
Cor Total	6,20E+06	88				

O método da superfície de resposta, aplicado aos projetos fatoriais de experimentos conduzidos pela simulação do armazenamento, permitiu a indicação do volume de 6000 m³ para a nova capacidade de armazenamento de diesel, na

²⁰⁹ Os resultados do valor do custo total correspondente a cada uma das 10 simulações se encontram no APÊNDICE IV – Tabela IV.ii.4.

ampliação do Terminal marítimo no NE. A indicação está condicionada à redução do tempo de viagem de navios-tanque para reposição do estoque, em face da redução considerável de custo total envolvida. O novo intervalo indicado (5 dias) poderá ser viabilizado, mediante uma revisão da programação de suprimento por cabotagem, conforme estabelecido anteriormente.

As duas soluções de nível de estoque de segurança, de custos respectivos indiferentes, em termos estatísticos, correspondem a duas políticas de estoque distintas, que poderão ser experimentadas no sistema, recurso este mais indicado para sanar a incerteza remanescente da aplicação da simulação ao problema (Tabelas 5.5.11 e 5.5.12). A política mais conservadora (Estoque de Segurança de 7,5 dias) poderá ser aplicada com mais aceitação, por presumir um nível de serviço elevado (99,63%).

Tabela 5.5.11: Comparação dos indicadores de desempenho logístico

Cenário	Inicial	Ampliação
Estoque de segurança, dias	7,5	7,5
Tancagem, m ³	2000	6000
Tempo de viagem, dias	17	5
Intervalo de reposição, dias	20	6
Espaço de segurança, dias	1,0	1,0
Demanda alocada, m ³ /dia	190,7	191,9
Estoque_mínimo, m ³	3814,9	1151,3
Nível de estoque médio, m ³	593,9	2324,9
Número médio dias de estoque	3,9	9,7
Volume médio em trânsito, m ³ /dia	64,0	0,0
Venda efetivada, m ³ /dia	118,6	191,2
Nível de serviço	62,2%	99,6%
Stockout, m ³ /dia	72,2	0,7
Ocup_Tancagem	30%	39%
Giro_Tancagem/ano	34,8	11,7
Giro_Estoque/ano	117,2	30,1

Obs: O estoque mínimo é calculado pela multiplicação da demanda alocada pelo intervalo de reposição.

Tabela 5.5.12: Comparação de custos relevantes

Cenário	Inicial	Ampliação
Estoque Médio (R\$/dia)	350,01	1370,82
Estoque em Trânsito (R\$/dia)	37,20	0,00
Sobras e Sobre-estadias (R\$/dia)	47130,76	9317,03
Falta Recuperável (R\$/dia)	45,30	0,44
Perda da Margem de Lucro (R\$/dia)	8403,57	82,67
Custo ou Perda Geral (R\$/dia)	55966,85	10770,96
Gastos com Fretes (R\$/dia)	4143,21	5487,73
Custo total, R\$/dia	60110,06	16258,69

Conclusão: Neste estudo de caso, foi feita a simulação do armazenamento de diesel em um terminal marítimo, que recebe produto por cabotagem. Os resultados permitiram determinar níveis de estoque e da capacidade de armazenamento adequados, na ampliação da unidade de armazenamento em questão.