

Referências bibliográficas

AL-OTAIBI, Ghanim A *et* STEWART, Michael D. Simulation model determines optimal tank farm design. **Oil & Gas Journal**, v. 102, n. 7, p. 50-55, 2004.

ANP. **SPG01 - Conceito das Instalações Marítimas e Terrestres de Embarque ou Desembarque de Petróleo ou de Gás Natural para Efeito de Distribuição de Royalties**. - Superintendência de Controle das Participações Governamentais - Superintendência de Desenvolvimento e Produção – Fev/2001 – item 6.1, pág 6)
(http://www.anp.gov.br/doc/notas_tecnicas/Nota_Tecnica_ANP_SPG01_2001.pdf). Documento técnico, 2001 – consultado em nov/2007.

ANTT. **Perguntas Frequentes (3 a 13)**.
<http://www.antt.gov.br/faq/multimodal.asp> - consultado em 2008.

ASTM. **Standard Test Method for ASTM Color of Petroleum Products (ASTM Color Scale)**. D1500-07. United States, 2007.

ASTM. **Standard Test Method for Sulfur in Petroleum Products (High-temperature Method)**. D1552-07. United States, 2007.

ASTM. **Standard Method for Water Reaction of Aviation Fuels**. D1094-07. United States, 1997.

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

BALLOU, Ronald H. **Logística Empresarial**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 1993.

BANKS, Jerry; CARSON, John S. II; NELSON, Barry L. **Discrete -Event System Simulation**. 2. ed. Prentice Hall, 1984.

BANKS, Jerry; CARSON, John S. II; NELSON, Barry L.; NICOL, David. **Discrete-Event System Simulation**. 3. ed. Prentice Hall, 2000.

BARBOSA, Guilherme A.; BARBOSA, Guilherme B.; LIMOEIRO, Cláudio D.; CHAN, Ana. **Avaliação de Parques de Armazenamento das Refinarias PETROBRAS por Meio de Técnicas de Simulação Estocástica** - Rio Oil and Gas Expo Conference, 2006.

BASTOS, Bruno Guimarães (Coord.). **Manual de análise empresarial de projetos de investimento**: estratégia e desempenho empresarial - gerência de análise e acompanhamento dos projetos de investimentos. Rio de Janeiro: PETROBRAS, 2006. Documento técnico interno.

BRITO, Victor. **Aplicação de simulação como ferramenta de apoio à elaboração de um planejamento estratégico de capacidade.** Centro de Estudos em Logística – COPPEAD / UFRJ – p. 7, 2007.

CHAN, Ana. **Simulação Aplicada às Operações Logísticas de um Parque de Armazenamento de Gasolina de uma Refinaria de Petróleo.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE/UFRJ, Brasil, 2006. 99 p.

CHOPRA, Sunil *et* MEINDL, Peter. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos. Estratégia, Planejamento e Operação.** 1. ed. São Paulo: Prentice Hall Inc, cap. 4, seção 4.2, p. 69, 2004.

CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso Celso. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: teoria e prática.** Bravarte, 2006.

COSTA NETO, Pedro Luiz de Oliveira. **Estatística.** 2. ed. Sao Paulo: Edgard Blucher, 2002.

COX, David Roxbee; REID, N. **The Theory of the Design of Experiments.** New York: Chapman & Hall/CRC, 2000.

FELIZARI, Luiz Carlos; RAMOS de ARRUDA, Lúcia Valéria; LÜDERS, Ricardo; NEVES, Flávio Jr. **Programação das Atividades de Transporte de Derivados de Petróleo em Complexos Dutoviários.** 4o PDPETRO. Campinas, SP: 21-24 de Outubro de 2007.

FIGUEIREDO, Renata. **Gargalos Logísticos na Distribuição de Combustíveis Brasileira.** PDF – p. 5-7, 2006.

FREITAS FILHO, Paulo José. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em ARENA.** Visual Books Ltda, 2001.

FREITAS, Ângelo Antonio de Miranda; BARBETTA, Emília de Vasconcelos; AUDI, Marcio Sergio; OSHIRO, Rubens Massayuki. **Aplicação de Metodologia para Definição de Níveis de Estoque em São Paulo.** PETROBRAS AB-LO/PO/DEL, 2006. 1 CD ROM.

GEOCITIES - <<http://www.geocities.com/vienna/choir/9201/alcanos.htm>> - consultado em fev/2008.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO – Secretaria de Estado do Ambiente – Fundação Estadual de Engenharia do Meio-ambiente – FEEMA - **Instrução Técnica DECON No. 14/2007.** (a) itens 3.6.3, 4.2.3, ANEXO 1.1, 1.4.1, 1.4.7-8, 1.5.1, 1.5.7-10; (b) itens 3.5.1, 3.5.2.4-5, 3.5.3, 4.2.1-3.

HILLIER, Frederick S. *et* LIEBERMANN, Gerald J. **Operations Research.** 2. ed. Holden-Day Inc, 1974.

KELTON, W. David; SADOWSKI, Randall P.; et STURROCK, David T. **Simulation with ARENA**. 3. ed. McGraw Hill, 2004.

LABPETRO - Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Metodologias para Análises de Petróleos – parceria PETROBRAS e UFES, 2008. <http://www.cce.ufes.br/labpetro/fluidez.htm> - consultado em fev/2008.

LAW, Averill M.; McCOMAS, Michael G.; VINCENT, Stephen G. **The Crucial Role of Input Modeling in Successful Simulation Studies**. *Industrial Engineering*, Jul/1994 p. 55.

LAW AM, KELTON WD. **Simulation Modeling and Analysis**. 2. ed. New York: McGraw Hill, 1991.

LEAL, José Eugênio; VASCONCELLOS, Priscila Quintela Menezes. **Elementos de Comércio Exterior Relevantes para a Logística**. DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL – PUC-RJ – 2006 (*mimeo*).

LEFTWICH, Richard H. **O Sistema de Preços e a Alocação de Recursos**. Biblioteca Pioneira de Ciências Sociais, 1960.

LIMA, Mario Jorge; FULLER, Daniel Barry Vieira; BARBOSA, Guilherme de Aquino; LIMOEIRO, Claudio Duarte Pinto. **Limitations in the Use of Mathematical Models to Support Investment Decisions**. Winter Simulation Conference, 2007.

LIMOEIRO, Cláudio D.; BARBOSA, Guilherme J, CHAN, Ana.; BEAL, Cláudio R.; LIMA, Mário J. **Applying Simulation to the Sizing of PETROBRAS Oil Refinery Tank Farms**. Winter Simulation Conference, 2004.

MONTGOMERY, Douglas C. **Design And Analysis Of Experiments**. 5. ed. New York: John Wiley & Sons, 1997.

MYERS, Philip E. **Aboveground Storage Tanks**. New York: Mc Graw Hill, 2004.

PEREIRA, Luciano Rosa; BATISTA, Rogério de Castro; LIMOEIRO, Cláudio Duarte Pinto; BARBOSA, Guilherme Julio; BOQUIMPANI, Carlos Alberto Ornellas. **Dimensionamento de Estoques em Bases de Distribuição de Combustíveis Usando Simulação**. 2003.

PETROBRAS. **Dimensionamento de tancagem para GLP no terminal do Pecém**. Rio de Janeiro, 2006. Documento técnico interno.

PETROBRAS. **Elaboração de proposta de melhoria do nível de serviço para a cadeia de suprimento: ABAST - PE-3AT-00037-B**. Rio de Janeiro, 2007. Documento técnico interno.

PRADO, Darci Santos do. **Usando o ARENA em simulação**. 2. ed. Belo Horizonte: INDG Tecnologia e Serviços Ltda., 2004.

RIACH, James P; GALVÃO, Robert D; MESSER, Luiz; SILVA, José Ricardo Machado. **Um Modelo Matemático-estatístico para a Determinação de Estoques e Tancagens**. Grupo de Trabalho – Sindicato Nacional do Comércio Atacadista de Minérios e Combustíveis Minerais (SINDICOM), p. 9-10, 1970.

RODRIGUES, Alexandre Medeiros; SALIBY, Eduardo: **A Aplicação da Simulação no Dimensionamento de Bases de Distribuição de Combustíveis**. CEL/COPPEAD, 1998.

SALIBY, Eduardo. **Tecnologia de informação: uso da simulação para obtenção de melhorias em operações logísticas**. CEL/COPPEAD, 1999.

SHANNON, Robert E. **Systems Simulation: the art and science**. Prentice Hall Inc, 1975.

Site do SINDICOM, 2008 – Logística - www.sindicom.com.br/pub_sind/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=72 – consultado em fev/2008.

SOARES, Adriana Costa; LEAL, José Eugênio; AZEVEDO, Ítalo Ricardo. **Diagnóstico da rede de distribuição de derivados de petróleo no Brasil e sua representação em um SIG** - XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção - Ouro Preto, MG, Brasil, 21 a 24 de out de 2003.

TIGERLOG – Consultoria e Treinamento em Logística - Glossário técnico – Disponível em: <<http://www.tigerlog.com.br/logistica/glossario>> - Acesso em dezembro/2007 e fevereiro/2008

TORRES, Paulo; OLIVEIRA, Laura L.; RODRIGUES, Luis H.; MEGIOLARO, Moacir. **Simulação de Sistema Logístico para Avaliação de Investimento**. Rio Oil and Gas Expo Conference, 2006.

TRANSPETRO. **Alinhamentos para transferência de tancagem refrigerada:- PE-3N7-02239-A**. Rio de Janeiro, 2007. Documento técnico interno.

TRANSPETRO. **Condições gerais de serviço da Transpetro: CGST**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<http://www.transpetro.com.br/portugues/negocios/files/CGST.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2008.

TRANSPETRO. **Condições gerais de serviço: álcool**. 18. ed. Rio de Janeiro, 2008. Documento técnico interno.

TRANSPETRO. **Cortes e interfaces de produtos: PE-3N8-00254-B**. Rio de Janeiro, 2007. Documento técnico interno.

TRANSPETRO. **Operação das bombas B-501 A/B/C: PE-3N7-01211-C**. Rio de Janeiro, 2007. Documento técnico interno.

TRANSPETRO. **Operação do sistema de refrigeração**: PE-3N7-01224-B. Rio de Janeiro, 2007. Documento técnico interno.

TRANSPETRO. **Relatório do Transporte Marítimo**. Rio de Janeiro, 2006.

TRANSPETRO. **Terminal de Aracaju – Informações Portuárias**. Rio de Janeiro, cap. 5, seção 5.3.8, p. 22, 2008.

TRANSPETRO. **Terminal de Belém – Informações Portuárias**. Rio de Janeiro, cap. 5, seção 5.4.3, p. 26, 2008.

TRANSPETRO. **Terminal de Santos – Informações Portuárias**. Rio de Janeiro, cap. 5, seção 5.3.2, p. 15-16, 2008.

TRANSPETRO. **Informações portuárias**: Terminal de Suape. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em:

<http://www.transpetro.com.br/portugues/negocios/dutosTerminais/files/PI_Suape_Portugues.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2008.

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Viscosidade> - consultado em fev/2008.

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Isotropia> - consultado em mar/2008.

ANEXO I - GLOSSÁRIO

I.i Principais produtos derivados de petróleo e biocombustíveis (www.anp.gov.br/glossario) – consultado em fev/2008.

Álcool Etilico Anidro Combustível (AEAC): Produzido no País ou importado pelos agentes econômicos autorizados para cada caso, é destinado aos distribuidores para mistura com a gasolina A para formulação da gasolina C. Obtido, no Brasil, pelo processo de fermentação do caldo da cana-de-açúcar. Apresenta teor alcoólico mínimo de 99,3° INPM. O AEAC é utilizado para mistura com a gasolina A, especificada pela Portaria ANP nº 309/01, para produção da gasolina tipo C. O teor de AEAC na gasolina é fixado por Portaria do Ministério da Agricultura, conforme Decreto Nº 3.966/2001. O teor adicionado pode variar de 20 a 25%, em volume, segundo a Lei Nº 10.696/2003. O percentual de AEAC adicionado à gasolina, a partir do ano de 2004, foi de 25% até 02/2006, de 20% até 19/11/2006, de 23% até 06/2007 e 25% a partir de 07/2007 (RESOLUÇÃO ANP Nº 36, DE 6/12/2005).

Álcool Etilico Hidratado Combustível (AEHC): Combustível líquido e incolor utilizado em motores de ignição por centelha (Ciclo Otto), em substituição à Gasolina C comercializada nos postos revendedores. Produto especificado pela ANP pela Resolução ANP nº 36/2005. Não pode ser comercializado com Corante Laranja, pois indicaria combustível adulterado. No Brasil este produto é produzido a partir do melão da cana-de-açúcar (RESOLUÇÃO ANP Nº 36, DE 6/12/2005).

Biodiesel: Combustível composto de alquil-ésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais, conforme especificação da ANP (RESOLUÇÃO ANP Nº 7, DE 19.3.2008).

Butano: Hidrocarboneto saturado com quatro átomos de carbono e dez átomos de hidrogênio (C₄H₁₀), encontrado no estado gasoso incolor. Compõe o GLP, sendo empregado como combustível doméstico, como iluminante, como fonte de calor industrial em caldeiras, fornalhas e secadores, para corte de metais e aerossóis.

Fuel Oil 1%: Classificação de óleos combustíveis com teor máximo de enxofre de 1% (um por cento), viscosidade cinemática de 380(10-6 m²/s (trezentos e oitenta milionésimos de metro quadrado por segundo) a 50 °C (cinquenta graus Celsius) e densidade entre 965 (novecentos e sessenta e cinco) e 990 kg/m³ (novecentos e noventa quilogramas por metro cúbico (PORTARIA ANP Nº 206, DE 29.8.2000)

Fuel Oil 3.5%: Classificação de óleos combustíveis com teor máximo de enxofre de 3,5% (três vírgula cinco por cento), concentração máxima de vanádio de 300 ppm (trezentas partes por milhão), viscosidade cinemática de 380(10-6 m²/s (trezentos e oitenta milionésimos de metro quadrado por segundo) a 420(10-6 m²/s (quatrocentos e vinte milionésimos de metro quadrado por segundo) a 50 °C (cinquenta graus Celsius) e densidade de 965 (novecentos e sessenta e cinco) a

990 kg/m³ (novecentos e noventa quilogramas por metro cúbico (PORTARIA ANP Nº 206, DE 29.8.2000).

Gás Liquefeito do Petróleo (GLP): Mistura de hidrocarbonetos com alta pressão de vapor, obtida do gás natural em unidades de processo especiais, que é mantida na fase líquida em condições especiais de armazenamento na superfície (PORTARIA ANP Nº 9, DE 21.1.2000).

Gás Natural ou Gás: Todo hidrocarboneto que permaneça em estado gasoso nas condições atmosféricas normais, extraído diretamente a partir de reservatórios petrolíferos ou gasíferos, incluindo gases úmidos, secos, residuais e gases raros (Lei 9.478, de 06/08/1997).

Gasóleo de Vácuo: Fração de hidrocarboneto produzida na unidade de destilação a vácuo. É um produto intermediário que serve de matéria-prima para a produção de GLP e gasolina na unidade de craqueamento.

Gasolina A: Produzida no País, a importada ou a formulada pelos agentes econômicos autorizados para cada caso, isenta de componentes oxigenados e que atenda ao Regulamento Técnico (PORTARIA ANP Nº 309, DE 27.12.2001).

Gasolina Automotiva: Compreende as gasolinas tipos A e Premium (PORTARIA ANP Nº 72, DE 26.4.2000).

Gasolina C: Aquela constituída de gasolina A e álcool etílico anidro combustível, nas proporções e especificações definidas pela legislação em vigor e que atenda ao Regulamento Técnico (PORTARIA ANP Nº 309, DE 27.12.2001).

Gasolina Natural: Mistura de hidrocarbonetos que se encontra na fase líquida, em determinadas condições de pressão e temperatura, normalmente obtida do processamento do gás natural rico em hidrocarbonetos pesados. Composta essencialmente de pentano (C₅) e outros hidrocarbonetos superiores em menor quantidade (PORTARIA ANP Nº 9, DE 21.1.2000).

Gasoil 0.2%: Classificação de gasóleos utilizados em aquecimento na França e Alemanha, com teor máximo de enxofre de 0,2% (dois décimos por cento) e densidade de 845 kg/m³ (oitocentos e quarenta e cinco quilogramas por metro cúbico) (PORTARIA ANP Nº 206, DE 29.8.2000).

Mistura Autorizada Óleo Diesel/Biodiesel: Combustível composto de biodiesel e óleo diesel em proporção definida quando da autorização concedida para testes e uso experimental conforme previsto na Resolução ANP Nº 18, de 22.6.2007 (RESOLUÇÃO ANP Nº 18, de 22.6.2007).

Mistura Óleo Diesel/Biodiesel – BX: Combustível comercial composto de (100-X)% em volume de óleo diesel, conforme especificação da ANP, e X% em volume do biodiesel, que deverá atender à regulamentação vigente (RESOLUÇÃO ANP Nº 7, DE 19.3.2008).

Nafta Petroquímica: Derivado de petróleo utilizado principalmente como matéria-prima da indústria petroquímica ("nafta petroquímica" ou "nafta não-energética") na produção de eteno e propeno, além de outras frações líquidas, como benzeno, tolueno e xilenos. A nafta energética é utilizada para geração de gás de síntese através de um processo industrial (reformação com vapor d'água). Este gás é utilizado na produção do gás canalizado doméstico.

Óleo Diesel: Fração do petróleo composta principalmente por hidrocarbonetos alifáticos. O óleo diesel é ligeiramente mais denso do que o querosene e destila na faixa entre 250 e 400°C. É usado como combustível em motores de combustão interna, nos quais a ignição ocorre pelo aumento de temperatura ao invés de faíscação. Compreende os óleos diesel tipos interior, metropolitano e marítimo.

Óleo Lubrificante: Líquido obtido por destilação do petróleo bruto. Os óleos lubrificantes são utilizados para reduzir o atrito e o desgaste de peças e equipamentos, desde o delicado mecanismo de relógio até os pesados mancais de navios e máquinas industriais.

Óleo Lubrificante Acabado: Produto formulado a partir de óleo lubrificante básico, podendo conter aditivos (PORTARIA ANP Nº 126, DE 30.7.1999).

Óleo Lubrificante Básico: Principal constituinte do óleo lubrificante acabado, podendo ser de origem mineral, vegetal, semi-sintético ou sintético (PORTARIA ANP Nº 126, DE 30.7.1999).

Óleos Combustíveis: Óleos residuais de alta viscosidade, obtidos do refino do petróleo ou através da mistura de destilados pesados com óleos residuais de refinaria. São utilizados como combustível pela indústria, em equipamentos destinados a produzir trabalho a partir de uma fonte térmica (PORTARIA ANP Nº 80, DE 30.4.1999).

Petróleo: Todo e qualquer hidrocarboneto líquido em seu estado natural, a exemplo do óleo cru e condensado (LEI Nº 9.478, DE 6.8.1997).

Propano: Hidrocarboneto saturado com três átomos de carbono e oito de hidrogênio (C_3H_8). É gasoso, incolor e possui cheiro característico. Inflamável à pressão e temperatura ambientes. Compõe o GLP. Empregado como combustível doméstico e como iluminante.

Propano Especial: Mistura de hidrocarbonetos contendo no mínimo 90% de propano por volume e no máximo 5% de propeno por volume (RESOLUÇÃO ANP Nº 18, DE 2.9.2004).

Propeno: Hidrocarboneto insaturado com três átomos de carbono e seis de hidrogênio (C_3H_6), encontrado no estado gasoso e incolor, obtido do craqueamento de hidrocarbonetos, normalmente nafta. Serve de matéria-prima para a produção de polipropileno.

Querosene: Fração seguinte à gasolina e anterior ao diesel na destilação do petróleo, em que predominam compostos parafínicos destilados na faixa de 150 a

300°C. Suas utilizações incluem: combustível para aviões (Ver Querosene de Aviação), aquecimento doméstico, iluminação (Ver Querosene Iluminante), solvente e inseticidas.

Querosene de Aviação (QAV-1 ou JET A-1): Derivado de petróleo utilizado como combustível em turbinas de aeronaves (RESOLUÇÃO ANP N° 3, DE 25.1.2006).

Querosene Iluminante: Utilizado, em geral, como solvente e combustível de lamparinas.

I.ii Locais de armazenamento de produtos de petróleo e biocombustíveis

Terminal: conjunto de instalações utilizadas para o recebimento, expedição e armazenagem de produtos da indústria do petróleo. Pode ser classificado como marítimo, fluvial, lacustre ou terrestre. (www.anp.gov.br/glossario) - consultado em set/2007

Terminal Marítimo, Fluvial ou Lacustre: conjunto de instalações marítimas, fluviais ou lacustres destinadas ao embarque ou desembarque de petróleo ou gás natural, contendo monobóia(s), quadro de bóias, píer de atracação ou cais acostável, podendo ainda fazer parte do Terminal tanques em terra para armazenamento de petróleo ou vasos e tubulões pressurizados para armazenamento de gás natural comprimido ou liquefeito(http://www.anp.gov.br/doc/notas_tecnicas/Nota_Tecnica_ANP_SPG01_2001.pdf) – consultado em fev/2008.

Base de distribuição: é a instalação com as facilidades necessárias ao recebimento de derivados de petróleo, ao armazenamento, mistura, embalagem e distribuição, em uma dada área do mercado, de derivados de petróleo (www.anp.gov.br/glossario).- consultado em set/2007. Os tanques podem conter volume de produto compartilhado entre várias companhias distribuidoras, ou pertencente a somente uma companhia.

Estação terrestre coletora de campos produtores e de transferência de óleo bruto ou gás natural: Trata-se de um conjunto de instalações, que recebem hidrocarbonetos diretamente de um ou mais campos produtores, compreendendo, entre outros, tanques para armazenamento de petróleo ou recipientes pressurizados ou criogênicos para armazenamento de gás natural liquefeito ou comprimido, bombas para a transferência de petróleo ou compressores para a transferência de gás natural (NOTA TÉCNICA SPG/ANP N° 01, 2001).

Centro Coletor de Álcool: Terminal para armazenamento de álcool.

I.iii Modalidades de transporte de produtos de petróleo

Duto: designação genérica de instalação constituída por tubos ligados entre si, destinada à movimentação de petróleo, seus derivados e gás natural. Movimenta produtos líquidos (oleoduto) e gasosos (gasoduto). Pode ser classificado como duto de Transporte ou de Transferência (www.anp.gov.br/glossario) - consultado em set/2007

I.iv Instalações de Embarque e Desembarque de Petróleo e Gás Natural (NOTA TÉCNICA SPG/ANP N° 01, 2001).

Mono-bóia: flutuadores de formatos diversos, localizados no mar, rios ou lagoas, agüentados nos seus lugares fundeados ou amarrados, utilizados para a atracação de navios para fins de embarque e desembarque de petróleo ou gás natural.

Quadro de Bóias Múltiplas: É um conjunto de flutuadores de formatos diversos, localizados no mar, rios ou lagoas, agüentados nos seus lugares fundeados ou amarrados, utilizados para a atracação de navios para fins de embarque e desembarque de petróleo ou gás natural.

Cais Acostável: É a parte de um porto, geralmente uma muralha que arrima um terrapleno, na qual as embarcações podem acostar para efetuar o embarque e desembarque de petróleo ou gás natural.

Pier de Atracação: É uma estrutura marítima enraizada em terra especialmente destinada a servir de cais acostável para navios destinados ao embarque e desembarque de petróleo ou gás natural.

I.v. Propriedades dos produtos de petróleo e biocombustíveis (MYERS, 1997, cap. 1, seção 1.2.2, pág. 3-11)

Densidade: é a razão entre a massa (m) e o volume (V) correspondente de um produto ($d = m/V$)²¹⁰. Produtos leves têm menor densidade, e vice-versa²¹¹. A densidade é um fator relevante na escolha dos tanques destinados a armazenar determinado produto²¹².

Pressão de vapor: é a pressão exercida pelo vapor de um líquido sobre a sua superfície, quando o vapor está em equilíbrio termodinâmico com o líquido que lhe dá origem²¹³ (WIKIPEDIA, 2007). A pressão de vapor é função crescente da

²¹⁰ Também denominada densidade **absoluta** (expressa em g/cm³). A densidade **relativa** é o quociente entre as densidades absolutas do produto e a de uma substância usada como referência (expressa como grandeza adimensional). Normalmente se adota a densidade da água a 4°C (1,000 g/cm³) como referência.

²¹¹ O grau API é uma medida de densidade utilizada para petróleo, visando classificá-lo como leve ou pesado. A expressão é dada por: $^{\circ}API = 141,5/d - 131,5$, sendo d a densidade. É uma grandeza adimensional.

²¹² Num estudo de utilização de tanques para suprimento de um produto leve no terminal de S. Sebastião, a baixa densidade era uma limitação séria à utilização de tanques de teto flutuante.

²¹³ Quando a taxa de líquido que se vaporiza é igual à taxa de vapor que se condensa.

temperatura. Um líquido entra em ebulição quando a pressão do sistema no qual está contido é menor ou igual à pressão de vapor desse líquido (com ou sem variação de temperatura). Como uma implicação relevante, um líquido precisará de maior espaço livre em tanque, quanto maior for sua pressão de vapor (com implicação direta no seu espaço de segurança de armazenamento).

Ponto de ebulição: Definido como a temperatura, ao nível do mar, sob a qual uma substância inicialmente em estado líquido, após aquecimento progressivo, começa a se vaporizar rapidamente. Nesse momento, a pressão de vapor do líquido terá atingido a pressão atmosférica²¹⁴. Durante a ebulição, a temperatura de uma substância pura líquida não varia.

Ponto de fulgor: Definido como a temperatura a partir da qual a mistura do vapor de um líquido inflamável com o ar entra em combustão.

Viscosidade: É a propriedade dos fluidos correspondente ao transporte microscópico de quantidade de movimento por difusão molecular (WIKIPEDIA, 2007). Ou seja, quanto maior a viscosidade, menor a velocidade em que o fluido se movimenta. A viscosidade tem implicação direta na vazão de bombeamento por duto, sendo este, por sua vez, um importante parâmetro utilizado em simulação de sistemas dinâmicos.

Ponto de fluidez: É a temperatura mínima em que um líquido pode fluir (LABPETRO-UFES, 2007). Quanto mais alto for o ponto de fluidez, maior será a dificuldade de escoamento de um produto. Produtos cujo ponto de fluidez está próximo a temperaturas que podem ocorrer em dias mais frios necessitam de aquecimento permanente em linhas de transferência e tanques.

Cor: A cor é uma propriedade muito simples dos produtos de petróleo, mas de imediata aplicação, pois pode ser prontamente reconhecida como característica de qualidade pelo usuário, em termos de pureza do produto, embora não possa ser sempre estabelecida como medida da especificação de produtos (Doc técnico – ASTM, 2007 – D1500-07). Os produtos de petróleo são classificados quanto à cor em produtos claros e escuros. Os principais produtos claros são o gás liquefeito de petróleo, nafta petroquímica, gasolina, querosene e diesel²¹⁵. Os principais produtos escuros são os óleos combustíveis e gasóleo²¹⁶. Em termos logísticos, essa classificação também adquire importância, pois produtos claros normalmente não podem compartilhar de tanques e linhas dutoviárias destinados a produtos escuros, pois a quantidade residual do produto escuro contamina toda a batelada de produto claro, colocando-a fora da especificação de cor.

Teor de enxofre: O teor de enxofre em produtos de petróleo resulta da presença de compostos orgânicos sulfurados²¹⁷. Os produtos mais leves, em geral, possuem menor teor. O dióxido de enxofre, corrosivo e tóxico, é produzido na queima dos

²¹⁴ A ebulição ocorrerá mesmo sem o aquecimento do líquido, bastando que a sua pressão de vapor seja maior ou igual à pressão atmosférica. Esse fenômeno normalmente ocorre quando o sistema em que o líquido estava confinado é aberto para a atmosfera.

²¹⁵ O álcool é também classificado como produto claro.

²¹⁶ O petróleo é considerado produto escuro.

²¹⁷ Os mercaptans (tioálcoois), dissulfetos orgânicos, tiofeno e tiofenóis são os principais.

produtos combustíveis que contêm compostos orgânicos sulfurados, por isso a especificação do limite do teor de enxofre é mais rigorosa para produtos claros. A possibilidade de contaminação de um produto claro de menor teor de enxofre limita o compartilhamento de tanques e linhas dutoviárias de transferência com os produtos de maior teor (Doc técnico – ASTM, 2007 – D1552-07).

APÊNDICE II - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

II.i Conceitos Básicos em Simulação

Esta seção tem como objetivo descrever a nomenclatura utilizada na literatura sobre simulação, e alguns conceitos fundamentais.

II.i.1 Definições

A simulação é uma poderosa ferramenta da pesquisa operacional, conhecida desde o início da década de 1950, porém somente a partir da década de 1990 passou a ser largamente utilizada no ambiente empresarial, tornando-se acessível a um público muito maior (SALIBY, 1999, item 1).

De acordo com SALIBY (1999, item 2), a simulação é definida como o processo de construção de um modelo que reproduz o funcionamento de um sistema real ou ainda em projeto, e na condução de experimentos computacionais através desse modelo, testando diferentes cenários para a operação do sistema, de modo a se obter maior compreensão do problema em estudo, permitindo propor melhores formas de operação do sistema em questão. SHANNON (1975, cap 1., pág. 2) define a simulação como o processo de projetar um modelo de um sistema real e a realização de experimentos com este modelo, a fim de entender o comportamento do sistema, e avaliar estratégias para a sua operação.

Segundo KELTON, SADOWSKI, *et* STURROCK (2004, cap.2, seção 2.3, pág. 24-28), os **componentes** principais presentes no contexto de uma simulação são os seguintes:

Entidades – São itens e objetos dinâmicos que são criados, deslocam-se para lugares diversos, mudam os valores de suas propriedades (estado), afetam outros componentes do modelo ou o estado do sistema, ou são afetados por eles, e influem nos indicadores de performance. Podem terminar sua função dentro do sistema em estudo, ou ficar circulando e agindo indefinidamente por ele. Entidades podem ser criadas de modo individual ou múltiplo, única ou sucessivamente, podendo haver diferentes espécies, em número variado, em

determinado instante, dentro do sistema. Normalmente representam objetos reais, mas também podem representar algo intangível, como por exemplo, informações de controle, geração de falhas de equipamentos, etc. (KELTON, SADOWSKI, *et* STURROCK, 2004, cap.2, seção 2.3.1, pág. 24-25).

Atributos – São características ou propriedades comuns a determinado tipo de entidade, mas que possuem valores específicos para cada entidade individual. Esses valores (numéricos ou não) podem mudar conforme o curso da entidade através do sistema, ou permanecer fixos (KELTON, SADOWSKI, *et* STURROCK, 2004, cap.2, seção 2.3.2, pág. 25).

Variáveis – São indicadores característicos do sistema como um todo, assumindo um valor apenas, a cada instante. Em simulação, existem variáveis **definidas pelo programador**, conforme a necessidade de modelagem do sistema, ou variáveis **embutidas** (ou automáticas), que descrevem comportamentos normalmente relevantes, tais como tamanho das filas, número de unidades de processo ocupadas, etc. Variáveis registram propriedades ou controles globais do sistema. Normalmente podem ser alteradas por qualquer entidade individual, direta ou indiretamente, durante a simulação, mas existem variáveis independentes, tais como tempo transcorrido. Variáveis podem também ser definidas como **vetores** ou **matrizes**. (KELTON, SADOWSKI, *et* STURROCK, 2004, cap.2, seção 2.3.3, pág. 26). Variáveis são classificadas como **discretas**, quando só podem assumir valores contidos em uma **lista**, que pode ser **finita** ou **infinita**, e são classificadas como **contínuas**, quando podem assumir **qualquer valor real**, dentro de intervalos numéricos. Variáveis podem ser classificadas em **determinísticas**, quando seu comportamento pode ser descrito por funções matemáticas, ou **aleatórias**, quando seu valor é determinado pelo resultado de um experimento, e não pode ser conhecido de antemão, em princípio. Nesse caso, o seu comportamento é descrito por **funções estatísticas** específicas para essa finalidade, denominadas **distribuições de probabilidade**. (KELTON, SADOWSKI, *et* STURROCK, 2004, apêndice C.2, pág. 601-605).

As distribuições de probabilidade são também classificadas como **discretas** ou **contínuas**, conforme a classificação das variáveis representadas por elas. Numa distribuição de probabilidade discreta, a **função de probabilidade no**

ponto retorna a probabilidade de ocorrência $p(x_i)$, de determinado valor x_i , para a variável aleatória discreta X , que a possui.

$$p(x_i) = p(X=x_i), \quad (\text{II.i.1.1})$$

para todo valor de i . A sentença “ $X=x_i$ ” representa o evento correspondente. A função de probabilidade no ponto pode também ser expressa como uma tabela ou gráfico²¹⁸. Numa distribuição de probabilidade contínua, a probabilidade $P(a \leq X \leq b)$ de que o valor da variável aleatória contínua X , que a possui, caia dentro de um intervalo, cujos valores numéricos extremos são a e b , é calculada através da **função de densidade de probabilidade** $f(x)$ pela integral definida seguinte.

$$P(a \leq X \leq b) = \int_a^b f(x) dx \quad (\text{II.i.1.2})$$

Isto é, a probabilidade é igual à área sob a curva da função de densidade de probabilidade $f(x)$ entre as abscissas $x=a$ e $x=b$ (²¹⁹) (KELTON, SADOWSKI, *et* STURROCK, 2004, apêndice C.2, pág. 601-605).

Recursos – São itens cuja função em geral é representar as utilidades do sistema, tais como equipamento para processamento, dispositivos ou áreas disponíveis para armazenamento, pessoas que executam serviços, e outros. Recursos podem ficar **ocupados**, **ociosos**, ou **inativos** (indisponíveis) durante a simulação. A representação da primeira situação normalmente se caracteriza pela chegada de uma ou mais entidades, que em seguida se apoderam de uma ou mais vagas ou **unidades** de serviço disponíveis em determinado recurso, as quais estarão sendo utilizadas durante certo intervalo de tempo. As vagas ou unidades de serviço restantes caracterizam a situação de **recurso ocioso**, total ou parcialmente. A simulação da quebra, paralisação ou ausência de um recurso pode também ser modelada, caracterizando a situação de **recurso inativo**. Uma única entidade pode

²¹⁸ Para descrição completa das propriedades das variáveis aleatórias discretas e contínuas (função de distribuição de probabilidade acumulada, valor esperado, variância, e suas relações) consultar COSTA NETO, (2002), apêndice A1.2, pág.231-234.

²¹⁹ Idem

simultaneamente utilizar mais de um recurso (KELTON, SADOWSKI, *et* STURROCK, 2004, cap.2, seção 2.3.4, pág. 26).

Filas – São representações do acúmulo de entidades aguardando sua vez de utilizar determinado recurso, o qual se encontra ocupado (KELTON, SADOWSKI, *et* STURROCK, 2004, cap.2, seção 2.3.5, pág. 26-27).

Estatísticas Acumuladas – São variáveis especiais, cuja função é acumular totais, à medida que a simulação prossegue. Como exemplos, temos o total de peças produzidas em uma fábrica, o tempo total de espera em filas, etc. Acumuladores são sempre zerados no início de cada simulação (KELTON, SADOWSKI, *et* STURROCK, 2004, cap.2, seção 2.3.6, pág. 27).

Eventos – São determinados tipos de ocorrência em um instante específico, capazes de mudar o valor de atributos, variáveis, ou estatísticas acumuladas. Por exemplo, chegadas de navios num terminal, início de bombeamentos, ou uma entidade que terminou sua utilização de um recurso, liberando-o. O início da simulação e o encerramento (quando aplicável) também caracterizam eventos (KELTON, SADOWSKI, *et* STURROCK, 2004, cap.2, seção 2.3.7, pág. 27-28).

II.i.2 Tipos de simulação e modelos

Segundo FREITAS FILHO (2001, cap.1 seção 1.4), existem três tipos de modelos de simulação, a saber:

- **Modelos voltados à previsão:** para prever o estado de algum sistema no futuro, com base em suposições sobre o seu comportamento atual;
- **Modelos voltados à investigação:** para a busca de informações e para desenvolvimento de hipóteses sobre o comportamento de sistemas;
- **Modelos voltados à comparação:** para avaliar o efeito de mudanças nas variáveis de controle. Dentro dessa classe, subdividem-se em modelos **específicos** (de curta utilização) e **genéricos** (de longa utilização). Nos modelos específicos, as aplicações recaem em decisões sobre compra ou alocação de determinado tipo de equipamento; reorganização e capacidade

de recursos para atendimento de clientes ou demandas. Nos modelos genéricos, exemplos de decisões são sobre aplicações orçamentárias; gerenciamento e planejamento de tráfego em função da densidade populacional; etc.

Os autores KELTON, SADOWSKI, *et* STURROCK (2004, cap. 1 seção 1.2.3, pág. 9-10 e cap. 2 seção 2.5, pág. 36-37) classificam diferentes tipos de simulação, conforme o sistema representado. A simulação é dita **dinâmica**, quando o tempo é relevante no modelo, caso contrário, é classificada como **estática**. Quanto às mudanças de estado do sistema modelado, se elas ocorrem continuamente ao longo do tempo, a simulação é classificada como **contínua**. Se ocorrem em instantes específicos, temos uma simulação **discreta**. Há casos também de simulações classificadas como **mistas**, relativamente aos tipos discreto e contínuo, as quais contêm certos eventos ocorrendo em instantes discretos, e outros ocorrendo continuamente, dentro do mesmo modelo. Se a modelagem envolve alguma variável aleatória, a simulação é **estocástica**, em caso negativo, **determinística**. A simulação é **orientada por eventos**, se exige uma programação para a seqüência lógica dos eventos do sistema modelado. Os modernos e poderosos aplicativos de simulação utilizam simulação **orientada por processos**, cujo foco está nos processos pelos quais um componente (normalmente uma entidade) passa no sistema. Essa modalidade geralmente dispensa a necessidade da programação escrita, cuja lógica já está embutida dentro de **módulos** representativos dos diferentes componentes e processos, podendo ser arranjados em fluxogramas de processo no modelo. Se o sistema modelado opera durante um intervalo de tempo preestabelecido, ou sob determinadas condições de partida e parada, restabelecendo-se as condições iniciais, a simulação é dita **terminante**. Se o sistema está modelado para configurar uma operação permanente, ou por tempo indeterminado, e sem definição de condições iniciais, a simulação é **não-terminante**. Observamos assim, que coexistem cinco parâmetros de classificação para determinada simulação, até agora identificados, segundo esses autores. LAW *et* KELTON (1991, cap. 9, seção 9.3, pág. 527-532) subdividem em três tipos a classificação da simulação não-terminante, em função da análise dos resultados e dos **indicadores** ou **parâmetros** de performance envolvidos, os quais, por sua

vez, são classificados em três tipos: parâmetros de **estado de regime**; parâmetros de **estado de regime de ciclo**; parâmetros **diversos**.

A simulação para o estudo de dimensionamento da capacidade de armazenamento, por exemplo, conforme os critérios acima, é classificada como **dinâmica**, **mista**, e **estocástica**. A relativa complexidade do sistema a ser modelado lhe sugere o emprego de uma simulação **orientada por processos**²²⁰. A característica permanente de uma operação de armazenamento indica que a sua simulação deve ser do tipo **não-terminante**.

Existe uma grande diferença entre as simulações terminantes e as não-terminantes. Não há, em princípio, estado inicial ou condições iniciais aplicáveis à modelagem de sistemas não-terminantes. Tais sistemas operam de maneira contínua, em estado de regime, dia e noite, no que se refere ao processo geral (salvo quando ocorrem paradas ou eventos emergenciais). A simulação do sistema, entretanto, não pode operar indefinidamente dessa maneira. Ela deverá ter necessariamente início e término. Tendo em vista a introdução dessa condição artificial no modelo, haverá inevitavelmente um intervalo de tempo, desde o início da simulação, durante o qual, a performance do sistema simulado não representa corretamente a operação do sistema real (HILLIER *et* LIEBERMANN, 1974, cap. 15, seção 15.3, pág. 640). A fase correspondente à duração desse intervalo de tempo inicial é chamada de **transiente**²²¹. A fase seguinte ao término da fase transiente chama-se fase **de regime**. Nessa fase subsequente, diz-se que cada distribuição de probabilidade atinge uma condição de equilíbrio, e tende para uma distribuição-limite, a qual não depende das condições iniciais da simulação. Deste modo, o procedimento correto de análise dos resultados da simulação para sistemas não-terminantes deverá considerar apenas a fase de regime.

Outra questão importante aplicável à simulação, segundo KELTON, SADOWSKI, *et* STURROCK (2004, cap.4, seção 4.5.6, pág. 166-167, e cap.12, seção 12.3, pág. 507-508), diz respeito ao comportamento das chegadas de entidades ao sistema. Quando as chegadas apresentam grande variação em função do horário, ou da existência de períodos críticos (por exemplo, horários de pico de tráfego, ou aumento sazonal da demanda), o modelo probabilístico que melhor

²²⁰ Não obstante essa sugestão, observa-se na prática o emprego da simulação **orientada por eventos discretos** em muitos estudos de sistemas de armazenamento.

²²¹ Uma breve abordagem analítica do comportamento dos processos estocásticos nas fases transiente e de regime se encontra no APÊNDICE V.

descreve esse comportamento é conhecido como **processo não-estacionário de Poisson**. Para a representação adequada de eventos cujos padrões variam através do tempo, nesse contexto, é definida uma **taxa de variação** $\lambda(t)$, como uma função do tempo t . Essa função possuirá valores **maiores** quanto **maior** for a incidência do evento correspondente, cuja ocorrência segue um processo não-estacionário de Poisson (KELTON, SADOWSKI, *et* STURROCK, 2004, cap.12, seção 12.3, pág. 507-508). A variável aleatória correspondente possui uma distribuição de probabilidade cuja média, dentro de um intervalo de tempo $[t_1, t_2]$, é dada por:

$$\Lambda(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} \lambda(t) dt \quad (t_1 < t_2) \quad (\text{II.i.2.1})$$

considerando os eventos ocorrendo independentemente entre si. As questões que surgem são a avaliação da função $\lambda(t)$ e a correspondente geração de números aleatórios a partir dessa distribuição de probabilidade. Normalmente são estabelecidos patamares constantes respectivamente atribuídos para $\lambda(t)$, para faixas de tempo regulares, com base no conhecimento prévio do comportamento do sistema.

II.i.3 Verificação e validação de modelos de simulação

Verificação do modelo: Processo que tem por objetivo assegurar que a execução do programa computacional empregado para conduzir a simulação esteja livre de erros. São basicamente técnicas utilizadas para testar a execução dos passos de programação do modelo. As principais técnicas estão descritas em FREITAS FILHO (2001, cap. 4, seção 4.2-4.3, pág. 119-130).

Validação do modelo: Processo que tem por objetivo assegurar que o modelo de simulação contenha as premissas e simplificações corretamente implantadas, de modo a proporcionar resultados numéricos semelhantes àqueles observados na operação do sistema real, representado pelo modelo de simulação. As dificuldades principais são a obtenção do comportamento do modelo idêntico ao do sistema

real (praticamente impossível) e a representação precisa de um sistema ainda em fase de projeto. As principais técnicas estão descritas em FREITAS FILHO (2001, cap. 4, seção 4.4, pág. 130-134).

II.ii Projeto Fatorial de Experimentos

II.ii.1 Conceitos e aplicações

Nos estudos de caso desta dissertação, a técnica estatística de **projeto fatorial de experimentos** é a ferramenta utilizada na prospecção das soluções de armazenagem **aproximadas** da solução ideal (de menor custo relevante total). A simulação do sistema de armazenamento pode ser considerada como um **experimento**, de natureza estatística, e os indicadores relevantes obtidos da simulação, as **variáveis de resposta** (ou **respostas**, simplesmente). São chamados de **fatores** os parâmetros do modelo ou variáveis de decisão, cujos valores (também chamados de **níveis**) podem ser controlados, ou estabelecidos como premissas²²² (FREITAS FILHO, 2001, cap. 7 seção 7.1, pág. 249).

Administrar um projeto por meio do controle dos fatores envolvidos é a essência da metodologia de projeto fatorial de experimentos. Um projeto (arranjo) fatorial consiste em um conjunto de experimentos em que todas as combinações possíveis entre os níveis dos fatores são investigadas (MONTGOMERY, 1997, Cap 5, seção 5.1, pág. 170). Um projeto fatorial completo possuindo k fatores, cada um deles variando conforme um número n_i de níveis, pode produzir um total n de experimentos distintos, calculado conforme a seguir (FREITAS FILHO, 2001, cap. 7 seção 7.3.3, pág. 257):

$$n = \prod_{i=1}^k n_i \quad (\text{II.ii.1.1})$$

²²² Nos estudos de caso ilustrativos, a variável de resposta é o **custo relevante total**, cujos componentes são os indicadores de custos que foram descritos na seção 4.10 do sistema de armazenagem. Os fatores são estoques de segurança, espaços de segurança e capacidades de armazenagem, das unidades de armazenagem em estudo.

Se limitarmos a escolha de 2 níveis para cada um dos k fatores assumir, o número de combinações diferentes entre fatores e níveis será igual a 2^k , cada uma delas associada a um experimento distinto. Trata-se de um caso particular do projeto fatorial completo, chamado **projeto fatorial 2^k** . Esta simplificação permite facilidade de criar, analisar, organizar os experimentos e entender os efeitos de cada fator sobre as variáveis de resposta do sistema (FREITAS FILHO, 2001, cap. 7 seção 7.4, pág. 262). Nos estudos de caso do presente trabalho foi utilizado esse modelo simplificado de projeto fatorial. Assim, por exemplo, três fatores a serem analisados produzem $2^3 = 8$ experimentos distintos.

Num projeto fatorial 2^k , dois valores de cada fator são escolhidos para representar dois níveis extremos em relação a um nível estabelecido como referência para o fator. O nível abaixo da referência corresponde ao nível -1 da respectiva **variável codificada** x_i , e o nível acima corresponde ao nível +1, de x_i . Na fase inicial da análise, parte-se normalmente de um conjunto de valores de referência dos fatores escolhidos como variáveis de decisão ou parâmetros de controle do sistema. A esse arranjo de valores de referência chamamos **ponto central** do projeto fatorial. Esse ponto central representa, em geral, as condições normais de operação do sistema ou a situação antes da aplicação das alterações propostas no estudo. A conversão entre uma variável codificada e a **variável natural** correspondente é obtida por:

$$x_i = 2 \cdot \frac{\xi_i - \xi_i(0)}{\delta} \quad \text{ou} \quad \xi_i = \frac{\delta \cdot x_i}{2} + \xi_i(0) \quad (\text{II.ii.1.2})$$

sendo: ξ_i o fator testado, expresso como variável natural;

$\xi_i(0)$ o valor de referência (no ponto central) da variável natural;

δ a amplitude do intervalo entre os valores extremos da variável natural.

Tomando como exemplo os valores dos estoques de segurança de cada uma das três Bases analisadas no Estudo de Caso I, temos respectivamente, para o ponto central e para os extremos inferior e superior (Tabela II.ii.1.1):

Tabela II.ii.1.1: Estoques de segurança (em dias) como fatores em um projeto de experimentos

Valor	Modo de representação do fator	Canoas x_A	Ijuí x_B	Passo Fundo x_C
Extremo inferior	Variável natural	1	2	2
	Variável codificada	-1	-1	-1
Central	Variável natural	2	3	3
	Variável codificada	0	0	0
Extremo superior	Variável natural	3	4	4
	Variável codificada	1	1	1

Diferentes valores das variáveis de resposta são obtidos dos experimentos, em função das combinações entre os níveis de cada fator. Cada uma dessas combinações constitui um **cenário** para análise. Normalmente se efetua um número de **replicações** do experimento (nos estudos de caso ilustrativos, são produzidas 10 replicações) para cada cenário.

Normalmente interessa ao analista de um projeto determinar quais fatores afetam a resposta do sistema, o impacto relativo de cada um deles, e se existe interação²²³ entre esses fatores (quando o impacto de um fator varia em função dos níveis dos outros fatores). Para análise dessa questão, é indicada a representação do projeto fatorial por um **modelo de regressão** da variável de **resposta** (dependente) ajustado em função dos fatores (variáveis independentes). A fórmula abaixo pode ser empregada para modelos lineares (MONTGOMERY, 1997, Cap 6, seção 6.6, pág. 271-272):

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_i \sum_j \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon, \quad (i < j) \quad (\text{II.ii.1.3})$$

sendo: y a variável de resposta;

β_0 a média aritmética dos valores da variável de resposta nos experimentos;

β_j os coeficientes da regressão ajustados para os fatores individuais²²⁴;

²²³ A interação entre dois fatores é definida como a falha de um fator (cujo nível foi fixado) em produzir o mesmo efeito sobre a resposta, sob diferentes níveis do outro fator (MONTGOMERY, 1997, cap 1, seção 1.1, pág. 4).

²²⁴ Os coeficientes β_j e β_{ij} multiplicados por 2 são também denominados **efeitos** dos fatores.

β_{ij} os coeficientes da regressão ajustados para os termos que representam cada uma das combinações das interações possíveis entre dois fatores;

x_i, x_j as variáveis codificadas correspondentes a cada fator;

ε o erro estocástico associado.

A representação gráfica da fórmula acima fornece uma superfície (multidimensional), denominada **superfície de resposta**. A curvatura dessa superfície será tanto maior quanto maior for o valor absoluto de qualquer um dos coeficientes β_{ij} da regressão, isto é, quanto mais significativa (estatisticamente) for a interação entre dois fatores do projeto (cujos efeitos sejam também significativos na variável de resposta).

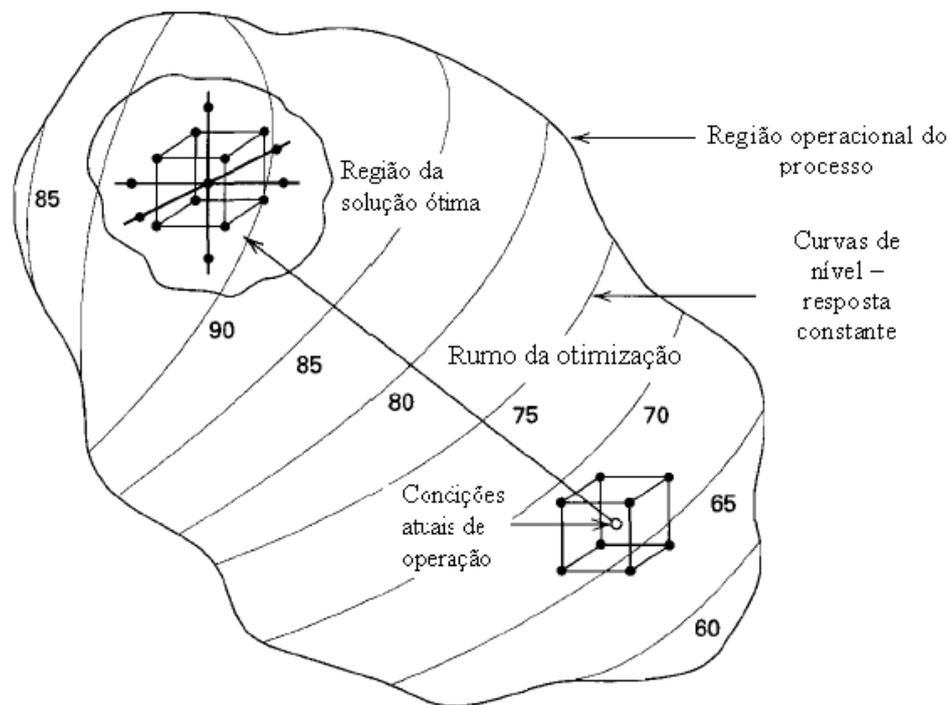
De posse dos resultados da variável de resposta nas simulações, pode-se obter o modelo de regressão ajustado, e a superfície de resposta correspondente²²⁵. A qualidade do modelo de regressão ajustado para representar o comportamento da variável de resposta em função dos fatores e de suas combinações (interações) pode ser testada por meio da **análise de variância**, verificando o ajuste de cada um dos termos e coeficientes da regressão aos dados observados, assim como o ajuste do modelo total.

Na fórmula (II.ii.1.3) está representado um modelo de regressão **linear de primeira-ordem**, no qual estão incluídos os termos relativos às combinações das interações entre os fatores. De acordo com o autor citado anteriormente, há casos em que um modelo de regressão **linear de segunda-ordem (contendo termos quadráticos)** representa melhor a curvatura apresentada pelos resultados na análise de variância do modelo de regressão:

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_i \sum_j \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} x_j^2 + \varepsilon \quad (i < j) \quad (\text{II.ii.1.4})$$

²²⁵ Existe ampla variedade de programas utilitários estatísticos para a elaboração e análise de projetos fatoriais, incluindo ajuste dos modelos de regressão e análise de variância envolvendo cada um dos parâmetros do modelo de regressão, além de vários outros recursos estatísticos e gráficos. Nos estudos de caso desta dissertação foi utilizado o aplicativo Design-Expert®, como suporte na metodologia para a técnica de projeto fatorial de experimentos.

correspondente à inclusão dos termos quadráticos relativos aos fatores, e os respectivos coeficientes de regressão ajustados β_{jj} (efeitos quadráticos). A fórmula acima representa um **modelo de superfície de resposta de segunda-ordem**. Esse comportamento da variável (e da superfície) de resposta geralmente caracteriza que o experimento evoluiu para uma região próxima da solução ótima (Figura II.ii.1.1).



Extraído de MONTGOMERY, 1997, Cap 11, seção 11.1, pág. 429

Figura II.ii.1.1: Método da Superfície de resposta (RSM) – evolução dos experimentos

II.ii.2 Abordagem de otimização em projetos de experimentos. Método da superfície de resposta

A busca da solução ótima é a continuação lógica da análise, e consiste em determinar a combinação de fatores que leva à melhor resposta do sistema. Para isso é necessário realizar experimentos correspondentes a algumas dessas combinações, selecionadas de modo a obter o avanço em direção ao ponto ótimo.

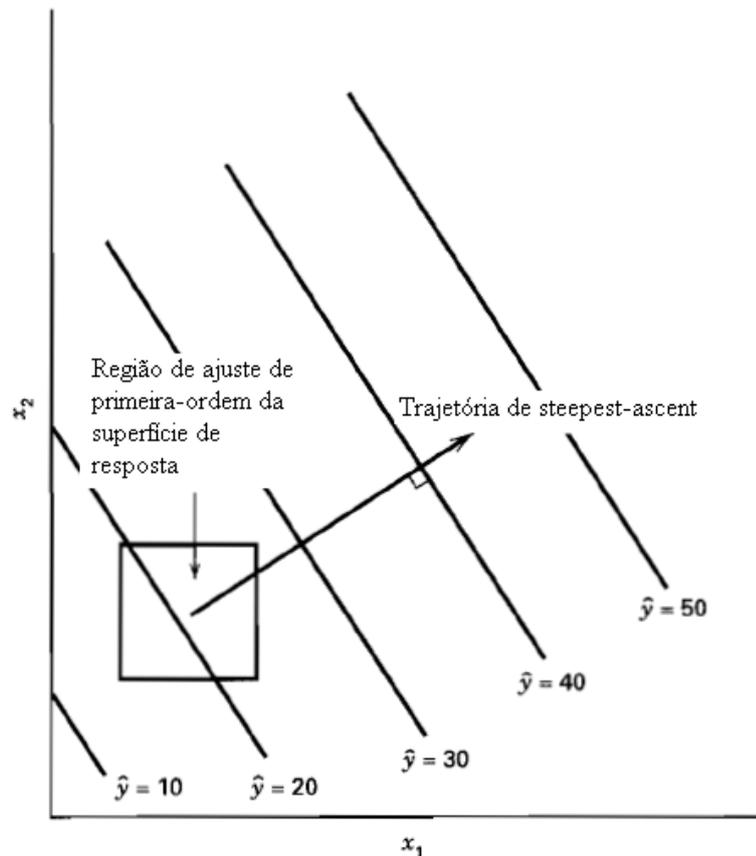
Para guiar o processo de busca eficiente da solução ótima, a literatura indica o **método da superfície de resposta**²²⁶. A superfície de resposta é definida como o valor da variável de resposta y em função dos fatores x_i (MONTGOMERY, 1997, Cap 11, seção 11.1, pág. 427).

$$E(y) = f(x_1, x_2) \quad (\text{II.ii.2.1})$$

Para cada valor fixo da função $E(y)$ pode ser traçada uma **curva de nível**, correspondente a um valor fixo da variável de resposta. A verdadeira relação entre a variável de resposta e as variáveis independentes, no entanto, é desconhecida. De início, procura-se o ajuste dessa relação por um modelo de regressão linear de primeira-ordem. Existindo curvatura significativa (estatisticamente), os modelos lineares de segunda-ordem são recomendados para o ajuste. O procedimento a seguir ilustra a aplicação do método da superfície de resposta, para a busca de uma solução o mais próximo possível do ponto ótimo (MONTGOMERY, 1997, Cap 11, seções 11.1-11.2, pág. 427-431).

Começa-se de um ponto afastado da solução ótima, onde a curvatura geralmente é pequena e o modelo linear se ajusta bem. A superfície de resposta apresenta retas paralelas (em aproximação) como curvas de nível, enquanto o modelo linear é utilizado, e o caminho ótimo segue uma **normal** a essas “retas paralelas” (Figura II.ii.2.1).

²²⁶ *Response Surface Methodology*, em inglês.



Extraído de MONTGOMERY, 1997, Cap 11, seção 11.2, pág. 430

Figura II.ii.2.1: Fase inicial da técnica *steepest ascent*. As curvas de nível da superfície de resposta tendem a retas paralelas

Nessa fase, a tática empregada é experimentar avanço através do caminho eficiente em direção à região vizinha do ponto ótimo. Essa técnica, conhecida como *steepest ascent* (ascensão pelo caminho mais íngreme), é utilizada para se obter, de modo eficiente, sucessivos incrementos da variável de resposta, quando a meta é aproximá-la do valor máximo. Quando o objetivo é o oposto, a técnica é chamada *steepest descent*, e consiste em se mover por um caminho ótimo ao longo do qual o valor da resposta cai mais rapidamente.

Conforme MONTGOMERY (1997, Cap 11, seção 11.2, pág. 435-436), o procedimento de avanço ao longo da trajetória de *steepest ascent (descent)* começa com a escolha da variável codificada **mais conhecida**, ou aquela que possui o coeficiente (individual) no modelo de regressão com o **maior valor absoluto**, $|\beta_j|^{227}$. Para essa variável, atribui-se um **avanço unitário** ($\Delta x_j = 1$) a

²²⁷ No estudo ilustrativo, que utiliza o método *steepest descent*, essa variável corresponde ao estoque de segurança na Base de Ijuí (x_B)

cada passo ao longo da trajetória de *steepest descent*. As demais variáveis codificadas (x_i) experimentarão avanços Δx_i de magnitude menor, proporcionais aos seus respectivos coeficientes individuais β_i do modelo de regressão ajustado:

$$\Delta x_i = \frac{\beta_i}{\beta_j / \Delta x_j} \quad (i \neq j) \quad (\text{II.ii.2.2})$$

Em seguida, usando a fórmula (II.ii.1.2), os avanços Δx_i são convertidos para a escala das respectivas variáveis naturais ($\Delta \xi_i$),

$$\Delta \xi_i = \frac{\delta}{2} \cdot \Delta x_i, \text{ e } \Delta \xi_j = \frac{\delta}{2} \cdot \Delta x_j \quad (\text{II.ii.2.3})$$

sendo, em seguida somados algebricamente às respectivas variáveis naturais, para caracterizar cada um dos experimentos ao longo da trajetória de *steepest descent*. O conjunto desses experimentos e os respectivos resultados do custo total, exemplificados para o Estudo de Caso I (Estudo do sistema de armazenamento de diesel do RS), estão na Tabela II.ii.2.1.

Tabela II.ii.2.1: Método *steepest descent* – resultados dos experimentos caracterizados

fator	x_A	x_B	x_C	
Coefficiente β_i	-141,53	-678,03	-364,04	
Avanço Δx_i	0,209	1,000	0,537	Custo total
$\delta/2$	1	1	1	(R\$/dia)
Ponto central	2,00	3,00	3,00	15322,72
1	2,21	4,00	3,54	14686,20
2	2,42	5,00	4,07	14544,12
3	2,63	6,00	4,61	14363,72
4	2,83	7,00	5,15	14420,70

A cada passo no caminho ótimo, novo experimento é produzido, e o valor da variável de resposta registrado, prosseguindo-se em novo passo até o ponto a partir do qual não mais se observa a queda sucessiva da variável de resposta (ou quando cessa o seu incremento, no caso de estar sendo utilizado *steepest ascent*).

No exemplo ilustrativo, esse ponto foi determinado na 3ª linha da Tabela II.ii.2.1, passando a ser o novo ponto central do projeto fatorial.

Ajusta-se então novo modelo linear de regressão, pelos métodos anteriores, a partir desse novo ponto central. Novo caminho ótimo (*steepest ascent* ou *steepest descent*, conforme a meta) passa a ser utilizado a cada passo, até o ponto em que não haja mais progresso na variável de resposta (incremento ou redução, conforme a meta). Obtém-se assim, novo ponto central do projeto fatorial (o qual, em princípio, está mais próximo da solução ótima).

Repete-se todo este procedimento até que não mais se possa ajustar um novo modelo linear de regressão²²⁸. Neste ponto, considera-se que o contradomínio dos fatores entrou em região vizinha da solução ótima (indicado pela falta de ajuste do modelo linear).

Entre dois experimentos produzidos em passos consecutivos do caminho ótimo (*steepest ascent* ou *steepest descent*), pode acontecer que o valor da variável de resposta já se encontre em região de **indiferença estatística**, podendo ser considerado satisfatório o resultado da aproximação do ponto ótimo, nessa fase (Exemplificado na Tabela II.ii.2.2)²²⁹.

Tabela II.ii.2.2: Intervalo de confiança para o indicador custo total – Resultados estatisticamente indiferentes

Custo total médio	desvio-padrão	n	α	$t_{n-1,1-\alpha/2}$	Limite inferior	Limite superior	meia-largura	% meia-largura sobre a média
14474,65	291,97	10	5%	2,262	14265,79	14683,51	208,86	1,4%
14409,62	268,88	10	5%	2,262	14217,28	14601,97	192,35	1,3%

Quando há presença de curvatura significativa indicada na análise de variância, há indicação da necessidade de se recorrer ao modelo de segunda-ordem, para obter o comportamento mais preciso da variável de resposta.

Nessa etapa, o modelo de segunda-ordem, ou quadrático (Fórmula II.ii.1.4) é o mais adequado para representar o comportamento da variável de resposta com maior precisão, em função dos fatores envolvidos. A busca por uma solução ótima

²²⁸ Conforme ilustrado na Tabela 5.4.8, do Estudo de Caso I. No APÊNDICE VI.3 se encontra um fluxograma de decisão da aplicação do método da superfície de resposta, incluindo etapas de ajuste dos modelos de 1ª e 2ª ordem.

²²⁹ Isto é, não há diferença estatisticamente significativa entre os dois valores médios da variável de resposta, estando um valor médio de qualquer um dos dois experimentos contido no intervalo de confiança do outro experimento (nesse caso, para 10 replicações e 5% de significância).

com maior aproximação é o passo seguinte. O método mais indicado para ajuste dos modelos de segunda-ordem é conhecido na literatura como **projeto central composto**²³⁰ (MONTGOMERY, 1997, Cap 11, seção 11.4.2, pág. 456-461).

O método consiste na criação de um projeto fatorial 2^k , com pontos **axiais**, além dos pontos centrais e fatoriais. A adição dos pontos axiais permite a incorporação dos termos quadráticos no modelo. Há dois parâmetros importantes a serem escolhidos para um bom ajuste deste modelo. A distância, α , dos pontos axiais ao novo ponto central e o número de pontos centrais n_C . A escolha correta de α visa assegurar que a variância da resposta prevista seja constante em pontos equidistantes do ponto central, e em todas as direções, já que não se conhece de início a localização do ponto ótimo. Essa propriedade é chamada **rotatabilidade**²³¹ (BOX *et* HUNTER, 1957, *apud* MONTGOMERY, 1997, Cap 11). O valor indicado para produzir um projeto fatorial composto **rotatável** é dado por:

$$\alpha = (n_F)^{\frac{1}{4}} \quad (\text{II.ii.2.2})$$

sendo n_F o número de pontos usado na porção fatorial do projeto. O número indicado de pontos centrais n_C é 3 a 5 pontos.

Obtém-se em seguida um modelo de regressão **linear de segunda-ordem** ajustado, a partir do projeto central composto. A solução matemática para o problema de achar o ponto de máximo ou de mínimo²³² da função quadrática correspondente a essa solução ótima é citada em MONTGOMERY (1997, Cap 11, seção 11.3.1, pág. 440). A fórmula do cálculo do ponto estacionário, em notação matricial é:

$$[\mathbf{x}_s] = -\frac{1}{2}[\mathbf{B}]^{-1}[\mathbf{b}] \quad (\text{II.ii.2.3})$$

²³⁰ *Central composite design*, na literatura em inglês, cuja tradução é: projeto central composto de partes distintas.

²³¹ *Rotatability*, na literatura em inglês.

²³² Também conhecido como **ponto estacionário**. Nesses pontos, as derivadas parciais de primeira ordem da função matemática que gera a superfície (multidimensional) têm valor zero. O **ponto de sela** (inflexão da superfície), também é um ponto estacionário, pelo mesmo motivo.

sendo: $[\mathbf{x}_s]$ o vetor-coluna dos fatores, expressos como variáveis codificadas;
 $[\mathbf{B}]$ a matriz simétrica em cuja diagonal estão os respectivos coeficientes β_{jj} dos termos quadráticos da regressão e fora da diagonal os coeficientes β_{ij} dos termos relativos às interações entre fatores na regressão, divididos por 2;
 $[\mathbf{B}]^{-1}$ a matriz inversa da matriz $[\mathbf{B}]$;
 $[\mathbf{b}]$ o vetor-coluna dos coeficientes da regressão ajustados para os fatores individuais;

Para determinado ponto estacionário, é necessário caracterizar a superfície de resposta no seu entorno, identificando esse ponto como máximo ou mínimo relativo, ou como ponto de sela. O método indicado por MONTGOMERY (1997, Cap 11, seção 11.3.2, pág. 440-441; 446) compreende os seguintes passos:

- Resolver a **equação característica** da matriz $[\mathbf{B}]$: $\det([\mathbf{B}] - \lambda \mathbf{I}) = 0$ (\mathbf{I} é uma matriz-identidade com as mesmas dimensões de $[\mathbf{B}]$).
- Se os autovalores λ_i (as raízes da equação característica em λ) forem todos positivos, o ponto estacionário será um **mínimo**. Se forem todos negativos, o ponto estacionário será um **máximo**. Se houver sinais diferentes, o ponto estacionário será um **ponto de sela**.

A indicação do valor da variável de resposta no ponto de máximo ou mínimo deverá ser confirmada pela realização do experimento com os fatores correspondentes.

APÊNDICE III – FICHAS TÉCNICAS DOS ESTUDOS DE CASO

Dados de entrada e sua descrição, premissas e simplificações utilizadas.

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

PARÂMETROS OPERACIONAIS

Produtos movimentados: DieselB em todas as Bases; DieselD somente no TENOAS.

Locais de armazenamento: Terminal de Canoas (TENOAS, Base Primária), Bases de Ijuí (BAJUI), Passo Fundo (AIPAF) (Bases Secundárias) e Rio Grande (ARRIG, Base Primária isolada).

Modais de transporte: O TENOAS é atendido pela REFAP por duto. As bases de BAJUI e AIPAF são supridas de diesel a partir do TENOAS por ferrovia e também, em menor escala, por rodovia. A base de ARRIG é atendida por produto bombeado por duto de uma refinaria de outra empresa (de terceiros).

Dias de operação por semana:

TENOAS	6
BAJUI	5
AIPAF	5
ARRIG	5

Estoque de segurança: parâmetro definido na entrada da simulação. No cenário de referência ele é fixado em 1 dia, para o TENOAS e em 2 dias, para as outras Bases.

Espaço de segurança: parâmetro definido na entrada da simulação.

Capacidade operacional total: idem.

Tancagem alugada para terceiros: idem.

PARÂMETROS ECONÔMICO-FINANCEIROS

Taxa de atratividade diária: 0,05%

Margem de lucro: 10%

Valor unitário dos produtos (R\$/m³):

Diesel B	750
Diesel D	800

Custo unitário dos modais em espera (R\$/m³dia):

Ferrovia	40
Navio-tanque	100
Balsa	60
Caminhão-tanque	12

PARÂMETROS DE MERCADO

Demanda prevista alocada:

Tabela III.i.1: Previsão de demanda diária alocada por unidade de armazenamento (distribuição normal)

Produto	Base	Média, m ³ /dia	Coefficiente de variação
DieselD	TENOAS	759	21,32%
DieselB	TENOAS	1044	24,03%
	BAJUI	316	33,26%
	AIPAF	341	20,14%
	ARRIG	269	21,61%

Fatores sazonais e de rateio intra-semanal:

A distribuição sazonal mensal das vendas de diesel segue o seguinte comportamento:

Tabela III.i.2: Fatores sazonais para as vendas de diesel

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0,896	0,951	0,942	0,981	0,970	1,007	1,015	1,051	1,077	1,098	1,055	0,956

Fonte: PETROBRAS – ABASTECIMENTO / MARKETING E COMERCIALIZAÇÃO

O rateio das entregas por dia da semana ocorre segundo as tabelas abaixo. A primeira delas traz os fatores correspondentes a cada dia da semana, quando as entregas ocorrem de segunda a sexta-feira (Bases de Ijuí, Passo Fundo e Rio Grande). A segunda traz os fatores correspondentes às entregas que ocorrem de segunda a sábado (Terminal de Canoas).

Tabela III.i.3: Fatores de rateio intra-semanal das entregas de diesel em 5 dias da semana

Dia da semana	Diesel B (Canoas)	Diesel B (Ijuí)	Diesel B (Passo Fundo)	Diesel B (Rio Grande)	Diesel D (Canoas)
Domingo	-	0,0	0,0	0,0	0,0
Segunda	-	1,3566	1,3015	1,2966	1,3471
Terça	-	1,2793	1,2287	1,3152	1,4102
Quarta	-	1,2304	1,2488	1,2321	1,3354
Quinta	-	1,1770	1,3395	1,2960	1,2755
Sexta	-	1,9568	1,8815	1,8601	1,6317
Sábado	-	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabela III.i.4: Fatores de rateio intra-semanal das entregas de diesel em 6 dias da semana

Dia da semana	Diesel B (Canoas)	Diesel B (Ijuí)	Diesel B (Passo Fundo)	Diesel B (Rio Grande)	Diesel D (Canoas)
Domingo	0,0	0,0	0,0	-	0,0
Segunda	1,2782	1,2420	1,3695	-	1,3160
Terça	1,2405	1,2621	1,3066	-	1,2477
Quarta	1,1690	1,2418	1,1531	-	1,2243
Quinta	1,2251	1,1232	1,3148	-	1,2683
Sexta	1,4647	1,5276	1,7154	-	1,4951
Sábado	0,6223	0,6033	0,1405	-	0,4485

Portanto, as vendas diárias serão calculadas segundo:

$$V_{diária} = (D_{ano} \times f_{sazon} \times f_{intra-sem}) / (12 \times d_{mês})$$

Sendo: $V_{diária}$ é a quantidade de produto vendida, que se deseja ver convertida, em função do dia da semana;

D_{ano} é o volume anual de demanda previsto;

f_{sazon} é o fator sazonal em função do mês, constante na Tabela III.i.2;

$f_{intra-sem}$ é o fator de rateio intra-semanal, em função do dia da semana, conforme a Tabela III.i.3 ou a Tabela III.i.4;

$d_{mês}$ é o número de dias do mês considerado.

Percentual de distribuição de faltas irrecuperáveis:

TENOAS	55%
BAJUI	79%
AIPAF	69%
ARRIG	78%

Os dados foram estimados a partir das entregas realizadas no período de 07/2001 a 06/2002.

Intervalos entre pedidos de suprimento: determinados em função do nível de estoque.

PARÂMETROS LOGÍSTICOS

Fretes de transporte e custos unitários

Frete ferroviário Canoas-Ijuí: R\$10,72/m³

Frete ferroviário Canoas-Passo Fundo: R\$12,74/m³

Tempo de viagem de atendimento de produto (lead-time):

Canoas-Ijuí (ferrovia): 24h

Canoas-Passo Fundo (ferrovia): 24h

Canoas ex-REFAP (duto): disponibilidade imediata, praticamente, considerando o que o produto fica estocado na linha dutoviária, e que a troca de bateladas de um tipo de diesel para o outro tipo se efetua no mesmo dia (simplificação da modelagem).

Rio Grande ex-Refinaria de terceiros: disponibilidade imediata, praticamente, considerando o que o produto fica estocado na linha dutoviária.

Cronograma de bombeamento de produtos: diário**III.ii Estudo de Caso II – Ampliação da Capacidade de Armazenamento de Diesel em um Terminal Marítimo na Região NE****PARÂMETROS OPERACIONAIS**

Produtos movimentados: DieselB (alto teor de enxofre)

Local de armazenamento: Terminal Marítimo.

Modais de transporte: O Terminal é abastecido por cabotagem

Dias de operação por semana: 5 dias

Estoque de segurança: parâmetro definido na entrada da simulação. No cenário de referência ele é fixado em 7,5 dias

Espaço de segurança: idem, fixado em 1 dia no cenário de referência

Capacidade operacional total: idem, fixada em 2000 m³ no cenário de referência

Tancagem alugada para terceiros: idem, fixada em zero.

PARÂMETROS ECONÔMICO-FINANCEIROS

Taxa de atratividade diária: 0,05%

Margem de lucro: 10%

Valor unitário dos produtos (R\$/m³): 1.151

Custo unitário dos modais em espera (R\$/m³dia):

Navio-tanque	40000
Caminhão-tanque	612

PARÂMETROS DE MERCADO

Demanda prevista alocada:

Média, m ³ /dia	Coefficiente de variação
193	20.35%

Os dados de demanda foram estimados a partir das entregas realizadas no período de 03/2000 a 05/2001.

Fatores sazonais e de rateio intra-semanal:

A distribuição sazonal mensal das vendas de diesel segue o seguinte comportamento:

Tabela III.ii.1: Fatores sazonais para as vendas de diesel

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0,896	0,951	0,942	0,981	0,970	1,007	1,015	1,051	1,077	1,098	1,055	0,956

Fonte: PETROBRAS – ABASTECIMENTO / MARKETING E COMERCIALIZAÇÃO

Tabela III.ii.2: Fatores de rateio intra-semanal das entregas de diesel em 5 dias da semana

5 dias	DieselB
Domingo	0,0
Segunda	1,1830
Terça	1,2580
Quarta	1,2335
Quinta	1,2702
Sexta	2,0540
Sábado	0,0

Fonte: PETROBRAS – ABASTECIMENTO / MARKETING E COMERCIALIZAÇÃO

Percentual de distribuição de faltas irrecuperáveis: 48%

Intervalos entre pedidos de suprimento: determinados em função do nível de estoque.

PARÂMETROS LOGÍSTICOS

Fretes de transporte (cabotagem): R\$28,7/m³

Tempo de viagem de atendimento de produto (lead-time): 17 dias (cenário de referência).

APÊNDICE IV – TABELAS

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

Tabela IV.i.1: Estudo de Caso I - Condução dos experimentos – Criação do 1º projeto fatorial

Experimento	ES_Canoas (dias)	ES_Ijuí (dias)	ES_Passo Fundo (dias)	Custo total (R\$/dia)
1	1	2	2	16613,34
1	1	2	2	15953,96
1	1	2	2	16910,38
1	1	2	2	16989,40
1	1	2	2	17124,19
1	1	2	2	17127,13
1	1	2	2	16664,72
1	1	2	2	16467,07
1	1	2	2	16469,61
1	1	2	2	17463,70
2	3	2	2	16560,42
2	3	2	2	16699,56
2	3	2	2	17135,68
2	3	2	2	16374,42
2	3	2	2	16464,83
2	3	2	2	16950,59
2	3	2	2	16428,32
2	3	2	2	16329,01
2	3	2	2	17361,2
2	3	2	2	16295,72
3	1	4	2	15675,71
3	1	4	2	15510,52
3	1	4	2	15639,21
3	1	4	2	15361,25
3	1	4	2	15484,84
3	1	4	2	15936,96
3	1	4	2	16224,86
3	1	4	2	14917,45
3	1	4	2	15922,17
3	1	4	2	15784,41
4	3	4	2	14765,50
4	3	4	2	15551,97
4	3	4	2	15351,88
4	3	4	2	15280,92
4	3	4	2	15493,68
4	3	4	2	15477,95
4	3	4	2	15383,50
4	3	4	2	15103,96
4	3	4	2	15317,33
4	3	4	2	15455,05

Experimento	ES_Canoas (dias)	ES_Ijuí (dias)	ES_Passo Fundo (dias)	Custo total (R\$/dia)
5	1	2	4	16488,38
5	1	2	4	15965,02
5	1	2	4	15836,65
5	1	2	4	16041,58
5	1	2	4	16086,74
5	1	2	4	15594,08
5	1	2	4	16593,68
5	1	2	4	15955,01
5	1	2	4	16282,28
5	1	2	4	15943,44
6	3	2	4	15891,97
6	3	2	4	16099,02
6	3	2	4	15877,94
6	3	2	4	15923,36
6	3	2	4	15727,80
6	3	2	4	15846,32
6	3	2	4	15614,11
6	3	2	4	16198,69
6	3	2	4	15808,05
6	3	2	4	16019,29
7	1	4	4	14823,81
7	1	4	4	14480,25
7	1	4	4	14956,45
7	1	4	4	15060,24
7	1	4	4	15150,55
7	1	4	4	14683,34
7	1	4	4	14986,45
7	1	4	4	14128,90
7	1	4	4	15244,79
7	1	4	4	14608,82
8	3	4	4	14435,10
8	3	4	4	14704,33
8	3	4	4	14517,16
8	3	4	4	14294,43
8	3	4	4	14745,69
8	3	4	4	14965,73
8	3	4	4	14469,70
8	3	4	4	14340,61
8	3	4	4	14729,46
8	3	4	4	13981,51
central	2	3	3	14876,57
central	2	3	3	15416,76
central	2	3	3	16406,33
central	2	3	3	15637,98
central	2	3	3	15502,22
central	2	3	3	15446,19
central	2	3	3	14918,40
central	2	3	3	14687,91
central	2	3	3	14984,34
central	2	3	3	15350,48

Tabela IV.i.2: Estudo de Caso I - Condução dos experimentos - Utilização do Método da Superfície de Resposta - Criação do 2º projeto fatorial (projeto fatorial composto) – Resultados para os pontos axiais

Experimento	ES_Canoas (dias)	ES_Ijuí (dias)	ES_Passo Fundo (dias)	Custo total (R\$/dia)
axial1	0,32	3,00	3,00	15269,01
axial1	0,32	3,00	3,00	15522,52
axial1	0,32	3,00	3,00	16090,48
axial1	0,32	3,00	3,00	14715,71
axial1	0,32	3,00	3,00	15956,91
axial1	0,32	3,00	3,00	16061,89
axial1	0,32	3,00	3,00	16219,63
axial1	0,32	3,00	3,00	15608,49
axial1	0,32	3,00	3,00	15299,28
axial1	0,32	3,00	3,00	15870,19
axial2	3,68	3,00	3,00	14987,10
axial2	3,68	3,00	3,00	15261,76
axial2	3,68	3,00	3,00	15346,32
axial2	3,68	3,00	3,00	15194,31
axial2	3,68	3,00	3,00	14860,83
axial2	3,68	3,00	3,00	14716,53
axial2	3,68	3,00	3,00	15151,63
axial2	3,68	3,00	3,00	14785,22
axial2	3,68	3,00	3,00	14782,42
axial2	3,68	3,00	3,00	15493,58
axial3	2,00	1,32	3,00	16707,91
axial3	2,00	1,32	3,00	16907,00
axial3	2,00	1,32	3,00	16962,66
axial3	2,00	1,32	3,00	16818,66
axial3	2,00	1,32	3,00	17677,89
axial3	2,00	1,32	3,00	17376,77
axial3	2,00	1,32	3,00	17203,57
axial3	2,00	1,32	3,00	17502,06
axial3	2,00	1,32	3,00	17306,80
axial3	2,00	1,32	3,00	17058,05
axial4	2,00	4,68	3,00	14615,75
axial4	2,00	4,68	3,00	14302,45
axial4	2,00	4,68	3,00	15120,64
axial4	2,00	4,68	3,00	14798,05
axial4	2,00	4,68	3,00	14868,12
axial4	2,00	4,68	3,00	14080,93
axial4	2,00	4,68	3,00	15095,30
axial4	2,00	4,68	3,00	14561,64
axial4	2,00	4,68	3,00	14857,80
axial4	2,00	4,68	3,00	14623,16
axial5	2,00	3,00	1,32	15944,10
axial5	2,00	3,00	1,32	16758,51
axial5	2,00	3,00	1,32	16379,01
axial5	2,00	3,00	1,32	16252,58
axial5	2,00	3,00	1,32	16023,03
axial5	2,00	3,00	1,32	15934,35

Experimento	ES_Canoas (dias)	ES_Ijuí (dias)	ES_Passo Fundo (dias)	Custo total (R\$/dia)
axial5	2,00	3,00	1,32	16219,51
axial5	2,00	3,00	1,32	16647,44
axial5	2,00	3,00	1,32	16347,32
axial5	2,00	3,00	1,32	16641,25
axial6	2,00	3,00	4,68	14922,99
axial6	2,00	3,00	4,68	15307,37
axial6	2,00	3,00	4,68	15045,18
axial6	2,00	3,00	4,68	15963,35
axial6	2,00	3,00	4,68	15216,59
axial6	2,00	3,00	4,68	15269,30
axial6	2,00	3,00	4,68	15157,15
axial6	2,00	3,00	4,68	15114,00
axial6	2,00	3,00	4,68	14335,52
axial6	2,00	3,00	4,68	15639,99

Tabela IV.i.3: Estudo de Caso I - Condução dos experimentos – 3º projeto fatorial

Experimento	ES_Canoas (dias)	ES_Ijuí (dias)	ES_Passo Fundo (dias)	Custo total (R\$/dia)
1	2,1	5,5	4,1	14793,16
1	2,1	5,5	4,1	14077,75
1	2,1	5,5	4,1	15051,39
1	2,1	5,5	4,1	14235,18
1	2,1	5,5	4,1	15095,99
1	2,1	5,5	4,1	15251,15
1	2,1	5,5	4,1	14794,04
1	2,1	5,5	4,1	14769,07
1	2,1	5,5	4,1	14703,79
1	2,1	5,5	4,1	14328,70
2	3,1	5,5	4,1	14262,86
2	3,1	5,5	4,1	14280,44
2	3,1	5,5	4,1	14455,54
2	3,1	5,5	4,1	14206,61
2	3,1	5,5	4,1	15030,19
2	3,1	5,5	4,1	14400,31
2	3,1	5,5	4,1	14768,51
2	3,1	5,5	4,1	14402,70
2	3,1	5,5	4,1	14924,42
2	3,1	5,5	4,1	14467,06
3	2,1	6,5	4,1	14138,42
3	2,1	6,5	4,1	14323,40
3	2,1	6,5	4,1	14712,72
3	2,1	6,5	4,1	14408,27
3	2,1	6,5	4,1	14593,62
3	2,1	6,5	4,1	14160,02
3	2,1	6,5	4,1	14298,59
3	2,1	6,5	4,1	14210,10

Experimento	ES_Canoas (dias)	ES_Ijuí (dias)	ES_Passo Fundo (dias)	Custo total (R\$/dia)
3	2,1	6,5	4,1	14510,06
3	2,1	6,5	4,1	14315,39
4	3,1	6,5	4,1	14511,25
4	3,1	6,5	4,1	14420,66
4	3,1	6,5	4,1	14773,09
4	3,1	6,5	4,1	14395,79
4	3,1	6,5	4,1	14166,73
4	3,1	6,5	4,1	14214,73
4	3,1	6,5	4,1	14909,44
4	3,1	6,5	4,1	14389,43
4	3,1	6,5	4,1	14387,26
4	3,1	6,5	4,1	14637,98
5	2,1	5,5	5,1	14394,00
5	2,1	5,5	5,1	14198,79
5	2,1	5,5	5,1	14548,08
5	2,1	5,5	5,1	14138,27
5	2,1	5,5	5,1	15054,72
5	2,1	5,5	5,1	14311,28
5	2,1	5,5	5,1	14725,96
5	2,1	5,5	5,1	15223,54
5	2,1	5,5	5,1	14182,77
5	2,1	5,5	5,1	14753,36
6	3,1	5,5	5,1	14467,27
6	3,1	5,5	5,1	14173,23
6	3,1	5,5	5,1	14297,65
6	3,1	5,5	5,1	14162,40
6	3,1	5,5	5,1	14506,38
6	3,1	5,5	5,1	14274,03
6	3,1	5,5	5,1	14391,82
6	3,1	5,5	5,1	14691,67
6	3,1	5,5	5,1	14439,52
6	3,1	5,5	5,1	14675,65
7	2,1	6,5	5,1	14722,09
7	2,1	6,5	5,1	13947,84
7	2,1	6,5	5,1	14534,90
7	2,1	6,5	5,1	14869,89
7	2,1	6,5	5,1	14502,10
7	2,1	6,5	5,1	14231,01
7	2,1	6,5	5,1	14961,23
7	2,1	6,5	5,1	14543,49
7	2,1	6,5	5,1	13949,40
7	2,1	6,5	5,1	14859,98
8	3,1	6,5	5,1	14591,86
8	3,1	6,5	5,1	14007,26
8	3,1	6,5	5,1	14227,75
8	3,1	6,5	5,1	14729,57
8	3,1	6,5	5,1	15028,69
8	3,1	6,5	5,1	14308,76
8	3,1	6,5	5,1	14436,36
8	3,1	6,5	5,1	14372,43

Experimento	ES_Canoas (dias)	ES_Ijuí (dias)	ES_Passo Fundo (dias)	Custo total (R\$/dia)
8	3,1	6,5	5,1	14618,85
8	3,1	6,5	5,1	14151,25
axial1	1,8	6	4,6	14133,32
axial1	1,8	6	4,6	14677,47
axial1	1,8	6	4,6	14894,66
axial1	1,8	6	4,6	14840,14
axial1	1,8	6	4,6	14972,19
axial1	1,8	6	4,6	14091,90
axial1	1,8	6	4,6	14589,88
axial1	1,8	6	4,6	14432,52
axial1	1,8	6	4,6	14638,90
axial1	1,8	6	4,6	14286,15
axial2	3,4	6	4,6	14281,81
axial2	3,4	6	4,6	14163,51
axial2	3,4	6	4,6	14337,53
axial2	3,4	6	4,6	14401,10
axial2	3,4	6	4,6	14815,26
axial2	3,4	6	4,6	14674,63
axial2	3,4	6	4,6	14487,41
axial2	3,4	6	4,6	14388,24
axial2	3,4	6	4,6	14295,83
axial2	3,4	6	4,6	14379,09
axial3	2,6	5,2	4,6	14356,34
axial3	2,6	5,2	4,6	14488,98
axial3	2,6	5,2	4,6	14427,40
axial3	2,6	5,2	4,6	14046,63
axial3	2,6	5,2	4,6	15152,45
axial3	2,6	5,2	4,6	14261,94
axial3	2,6	5,2	4,6	14652,90
axial3	2,6	5,2	4,6	14468,57
axial3	2,6	5,2	4,6	14603,83
axial3	2,6	5,2	4,6	13876,55
axial4	2,6	6,8	4,6	14235,00
axial4	2,6	6,8	4,6	14677,78
axial4	2,6	6,8	4,6	14682,52
axial4	2,6	6,8	4,6	14186,09
axial4	2,6	6,8	4,6	14493,91
axial4	2,6	6,8	4,6	14645,19
axial4	2,6	6,8	4,6	14758,62
axial4	2,6	6,8	4,6	14269,86
axial4	2,6	6,8	4,6	14726,89
axial4	2,6	6,8	4,6	14266,59
axial5	2,6	6	3,8	14511,75
axial5	2,6	6	3,8	14490,19
axial5	2,6	6	3,8	14322,78
axial5	2,6	6	3,8	14420,02
axial5	2,6	6	3,8	14434,50
axial5	2,6	6	3,8	14509,26
axial5	2,6	6	3,8	14296,25
axial5	2,6	6	3,8	14421,74

Experimento	ES_Canoas (dias)	ES_Ijuí (dias)	ES_Passo Fundo (dias)	Custo total (R\$/dia)
axial5	2,6	6	3,8	14642,31
axial5	2,6	6	3,8	14591,35
axial6	2,6	6	5,4	14194,06
axial6	2,6	6	5,4	14380,77
axial6	2,6	6	5,4	14653,25
axial6	2,6	6	5,4	14330,15
axial6	2,6	6	5,4	14663,33
axial6	2,6	6	5,4	14578,99
axial6	2,6	6	5,4	14800,18
axial6	2,6	6	5,4	14741,71
axial6	2,6	6	5,4	14165,69
axial6	2,6	6	5,4	15043,83
central	2,6	6	4,6	14039,77
central	2,6	6	4,6	14477,67
central	2,6	6	4,6	14143,82
central	2,6	6	4,6	14340,79
central	2,6	6	4,6	14385,36
central	2,6	6	4,6	14612,65
central	2,6	6	4,6	14555,07
central	2,6	6	4,6	14194,68
central	2,6	6	4,6	14908,22
central	2,6	6	4,6	14113,85

Estudo de Caso II - Ampliação da capacidade de armazenamento de diesel em um terminal marítimo na região NE

Tabela IV.ii.1: Estudo de Caso II - Condução dos experimentos - Projeto fatorial inicial

Experimento	Estoque de Segurança (dias)	Capacidade (m ³)	Tempo de viagem (dias)	Custo Total (R\$/dia)
1	6,5	1800	16	59679,72
1	6,5	1800	16	58786,92
1	6,5	1800	16	60107,19
1	6,5	1800	16	59508,55
1	6,5	1800	16	58079,29
1	6,5	1800	16	59246,40
1	6,5	1800	16	58529,99
1	6,5	1800	16	61361,24
1	6,5	1800	16	59207,99
1	6,5	1800	16	59884,52
2	8,5	1800	16	58331,06
2	8,5	1800	16	59172,68
2	8,5	1800	16	59020,69
2	8,5	1800	16	58818,22
2	8,5	1800	16	58257,12
2	8,5	1800	16	59060,08
2	8,5	1800	16	58380,79
2	8,5	1800	16	58990,36
2	8,5	1800	16	59392,74
2	8,5	1800	16	60921,17
3	6,5	2200	16	57168,49
3	6,5	2200	16	57438,78
3	6,5	2200	16	58918,74
3	6,5	2200	16	57389,88
3	6,5	2200	16	55971,58
3	6,5	2200	16	57175,00
3	6,5	2200	16	57015,13
3	6,5	2200	16	58624,29
3	6,5	2200	16	56886,21
3	6,5	2200	16	57818,61
4	8,5	2200	16	57493,33
4	8,5	2200	16	57516,24
4	8,5	2200	16	58768,56
4	8,5	2200	16	57623,12
4	8,5	2200	16	56044,36
4	8,5	2200	16	57143,63
4	8,5	2200	16	57206,34
4	8,5	2200	16	59460,35
4	8,5	2200	16	57424,00
4	8,5	2200	16	57352,79
5	6,5	1800	18	61567,54
5	6,5	1800	18	59281,36
5	6,5	1800	18	62350,49
5	6,5	1800	18	61972,16

Experimento	Estoque de Segurança (dias)	Capacidade (m ³)	Tempo de viagem (dias)	Custo Total (R\$/dia)
5	6,5	1800	18	60349,47
5	6,5	1800	18	62015,17
5	6,5	1800	18	62426,55
5	6,5	1800	18	61703,55
5	6,5	1800	18	62215,73
5	6,5	1800	18	62130,15
6	8,5	1800	18	61565,33
6	8,5	1800	18	59318,23
6	8,5	1800	18	62339,19
6	8,5	1800	18	61912,24
6	8,5	1800	18	60375,57
6	8,5	1800	18	62054,35
6	8,5	1800	18	62433,75
6	8,5	1800	18	61745,31
6	8,5	1800	18	62232,95
6	8,5	1800	18	62196,52
7	6,5	2200	18	59565,69
7	6,5	2200	18	57358,84
7	6,5	2200	18	60502,20
7	6,5	2200	18	60194,99
7	6,5	2200	18	58547,69
7	6,5	2200	18	60205,46
7	6,5	2200	18	60474,56
7	6,5	2200	18	59827,23
7	6,5	2200	18	60472,11
7	6,5	2200	18	60195,05
8	8,5	2200	18	59560,99
8	8,5	2200	18	57410,82
8	8,5	2200	18	60507,18
8	8,5	2200	18	60112,08
8	8,5	2200	18	58569,11
8	8,5	2200	18	60245,35
8	8,5	2200	18	60500,49
8	8,5	2200	18	59822,90
8	8,5	2200	18	60314,08
8	8,5	2200	18	60294,16
central	7,5	2000	17	59991,06
central	7,5	2000	17	60308,39
central	7,5	2000	17	60850,66
central	7,5	2000	17	60990,44
central	7,5	2000	17	59487,82
central	7,5	2000	17	60640,15
central	7,5	2000	17	60217,43
central	7,5	2000	17	58697,25
central	7,5	2000	17	59309,26
central	7,5	2000	17	60590,07

Tabela IV.ii.2: Estudo de Caso II - Condução dos experimentos - Projeto fatorial – primeira etapa

Experimento	Estoque de Segurança (dias)	Capacidade (m ³)	Espaço de segurança (dias)	Tempo de viagem (dias)	Custo Total (R\$/dia)
1	6,5	5800	0,5	4,5	16011,33
1	6,5	5800	0,5	4,5	17276,80
1	6,5	5800	0,5	4,5	16637,08
1	6,5	5800	0,5	4,5	15922,49
1	6,5	5800	0,5	4,5	16063,28
1	6,5	5800	0,5	4,5	17013,97
1	6,5	5800	0,5	4,5	15567,46
1	6,5	5800	0,5	4,5	20437,91
1	6,5	5800	0,5	4,5	15788,98
1	6,5	5800	0,5	4,5	16028,30
2	8,5	5800	0,5	4,5	16145,79
2	8,5	5800	0,5	4,5	17396,03
2	8,5	5800	0,5	4,5	16756,02
2	8,5	5800	0,5	4,5	16112,93
2	8,5	5800	0,5	4,5	16228,50
2	8,5	5800	0,5	4,5	48862,92
2	8,5	5800	0,5	4,5	15758,07
2	8,5	5800	0,5	4,5	20569,32
2	8,5	5800	0,5	4,5	15935,20
2	8,5	5800	0,5	4,5	16163,80
3	6,5	6200	0,5	4,5	16011,21
3	6,5	6200	0,5	4,5	17279,47
3	6,5	6200	0,5	4,5	16640,33
3	6,5	6200	0,5	4,5	15924,54
3	6,5	6200	0,5	4,5	16065,67
3	6,5	6200	0,5	4,5	17014,83
3	6,5	6200	0,5	4,5	15572,37
3	6,5	6200	0,5	4,5	20440,75
3	6,5	6200	0,5	4,5	15793,89
3	6,5	6200	0,5	4,5	16029,07
4	8,5	6200	0,5	4,5	16152,63
4	8,5	6200	0,5	4,5	17398,56
4	8,5	6200	0,5	4,5	16764,20
4	8,5	6200	0,5	4,5	16113,27
4	8,5	6200	0,5	4,5	16235,01
4	8,5	6200	0,5	4,5	17171,52
4	8,5	6200	0,5	4,5	15763,40
4	8,5	6200	0,5	4,5	20572,09
4	8,5	6200	0,5	4,5	15939,10
4	8,5	6200	0,5	4,5	16169,23
5	6,5	5800	1,5	4,5	16008,47
5	6,5	5800	1,5	4,5	17276,25
5	6,5	5800	1,5	4,5	16634,06
5	6,5	5800	1,5	4,5	15922,62
5	6,5	5800	1,5	4,5	16059,48
5	6,5	5800	1,5	4,5	17013,28
5	6,5	5800	1,5	4,5	15564,99

Experimento	Estoque de Segurança (dias)	Capacidade (m³)	Espaço de segurança (dias)	Tempo de viagem (dias)	Custo Total (R\$/dia)
5	6,5	5800	1,5	4,5	16263,99
5	6,5	5800	1,5	4,5	15787,16
5	6,5	5800	1,5	4,5	16026,44
6	8,5	5800	1,5	4,5	16142,04
6	8,5	5800	1,5	4,5	17391,80
6	8,5	5800	1,5	4,5	16751,60
6	8,5	5800	1,5	4,5	16111,04
6	8,5	5800	1,5	4,5	16224,29
6	8,5	5800	1,5	4,5	17162,05
6	8,5	5800	1,5	4,5	15753,70
6	8,5	5800	1,5	4,5	20565,40
6	8,5	5800	1,5	4,5	15931,11
6	8,5	5800	1,5	4,5	16160,23
7	6,5	6200	1,5	4,5	16013,08
7	6,5	6200	1,5	4,5	17277,59
7	6,5	6200	1,5	4,5	16639,22
7	6,5	6200	1,5	4,5	15923,53
7	6,5	6200	1,5	4,5	16064,83
7	6,5	6200	1,5	4,5	17014,71
7	6,5	6200	1,5	4,5	15570,65
7	6,5	6200	1,5	4,5	16266,94
7	6,5	6200	1,5	4,5	15791,36
7	6,5	6200	1,5	4,5	16029,07
8	8,5	6200	1,5	4,5	16149,11
8	8,5	6200	1,5	4,5	17397,22
8	8,5	6200	1,5	4,5	16760,02
8	8,5	6200	1,5	4,5	16113,42
8	8,5	6200	1,5	4,5	16231,07
8	8,5	6200	1,5	4,5	17170,53
8	8,5	6200	1,5	4,5	15760,50
8	8,5	6200	1,5	4,5	16398,79
8	8,5	6200	1,5	4,5	15937,13
8	8,5	6200	1,5	4,5	16166,01
9	6,5	5800	0,5	5,5	18902,64
9	6,5	5800	0,5	5,5	19085,76
9	6,5	5800	0,5	5,5	54330,46
9	6,5	5800	0,5	5,5	19117,06
9	6,5	5800	0,5	5,5	18284,62
9	6,5	5800	0,5	5,5	17932,26
9	6,5	5800	0,5	5,5	19354,70
9	6,5	5800	0,5	5,5	19622,73
9	6,5	5800	0,5	5,5	18919,91
9	6,5	5800	0,5	5,5	19514,00
10	8,5	5800	0,5	5,5	19032,45
10	8,5	5800	0,5	5,5	19186,75
10	8,5	5800	0,5	5,5	54427,66
10	8,5	5800	0,5	5,5	42219,45
10	8,5	5800	0,5	5,5	26386,27
10	8,5	5800	0,5	5,5	18063,79
10	8,5	5800	0,5	5,5	19496,01

Experimento	Estoque de Segurança (dias)	Capacidade (m³)	Espaço de segurança (dias)	Tempo de viagem (dias)	Custo Total (R\$/dia)
10	8,5	5800	0,5	5,5	19765,95
10	8,5	5800	0,5	5,5	19041,09
10	8,5	5800	0,5	5,5	19632,32
11	6,5	6200	0,5	5,5	18911,54
11	6,5	6200	0,5	5,5	19096,14
11	6,5	6200	0,5	5,5	54343,70
11	6,5	6200	0,5	5,5	19137,30
11	6,5	6200	0,5	5,5	18296,32
11	6,5	6200	0,5	5,5	17932,22
11	6,5	6200	0,5	5,5	19364,14
11	6,5	6200	0,5	5,5	19634,15
11	6,5	6200	0,5	5,5	18929,80
11	6,5	6200	0,5	5,5	19532,06
12	8,5	6200	0,5	5,5	19049,43
12	8,5	6200	0,5	5,5	19202,34
12	8,5	6200	0,5	5,5	54445,59
12	8,5	6200	0,5	5,5	19226,11
12	8,5	6200	0,5	5,5	18429,47
12	8,5	6200	0,5	5,5	18066,99
12	8,5	6200	0,5	5,5	19510,54
12	8,5	6200	0,5	5,5	19778,55
12	8,5	6200	0,5	5,5	19053,25
12	8,5	6200	0,5	5,5	19652,21
13	6,5	5800	1,5	5,5	18894,65
13	6,5	5800	1,5	5,5	19076,50
13	6,5	5800	1,5	5,5	54322,16
13	6,5	5800	1,5	5,5	19104,40
13	6,5	5800	1,5	5,5	18273,57
13	6,5	5800	1,5	5,5	17932,26
13	6,5	5800	1,5	5,5	19347,21
13	6,5	5800	1,5	5,5	19616,91
13	6,5	5800	1,5	5,5	18913,74
13	6,5	5800	1,5	5,5	19502,25
14	8,5	5800	1,5	5,5	19022,06
14	8,5	5800	1,5	5,5	19174,12
14	8,5	5800	1,5	5,5	54420,37
14	8,5	5800	1,5	5,5	19189,67
14	8,5	5800	1,5	5,5	26376,95
14	8,5	5800	1,5	5,5	18054,68
14	8,5	5800	1,5	5,5	19484,56
14	8,5	5800	1,5	5,5	19754,12
14	8,5	5800	1,5	5,5	19035,99
14	8,5	5800	1,5	5,5	19618,78
15	6,5	6200	1,5	5,5	18908,66
15	6,5	6200	1,5	5,5	19091,33
15	6,5	6200	1,5	5,5	54337,65
15	6,5	6200	1,5	5,5	19127,10
15	6,5	6200	1,5	5,5	18290,69
15	6,5	6200	1,5	5,5	17931,74
15	6,5	6200	1,5	5,5	19359,79

Experimento	Estoque de Segurança (dias)	Capacidade (m ³)	Espaço de segurança (dias)	Tempo de viagem (dias)	Custo Total (R\$/dia)
15	6,5	6200	1,5	5,5	19628,30
15	6,5	6200	1,5	5,5	18925,51
15	6,5	6200	1,5	5,5	19524,95
16	8,5	6200	1,5	5,5	19041,29
16	8,5	6200	1,5	5,5	19195,68
16	8,5	6200	1,5	5,5	54438,91
16	8,5	6200	1,5	5,5	19217,44
16	8,5	6200	1,5	5,5	18422,50
16	8,5	6200	1,5	5,5	18068,18
16	8,5	6200	1,5	5,5	19503,18
16	8,5	6200	1,5	5,5	19772,39
16	8,5	6200	1,5	5,5	19049,52
16	8,5	6200	1,5	5,5	19643,31
central	7,5	6000	1,0	5,0	15970,20
central	7,5	6000	1,0	5,0	16786,88
central	7,5	6000	1,0	5,0	16266,70
central	7,5	6000	1,0	5,0	16087,98
central	7,5	6000	1,0	5,0	16101,88
central	7,5	6000	1,0	5,0	16225,24
central	7,5	6000	1,0	5,0	16149,03
central	7,5	6000	1,0	5,0	16409,61
central	7,5	6000	1,0	5,0	15986,33
central	7,5	6000	1,0	5,0	16603,98

Tabela IV.ii.3: Estudo de Caso II - Condução dos experimentos - Projeto fatorial reduzido – primeira etapa

Experimento	Estoque de Segurança (dias)	Capacidade (m ³)	Espaço de segurança (dias)	Custo Total (R\$/dia)
1	6,5	5800	0,5	15892,34
1	6,5	5800	0,5	16702,88
1	6,5	5800	0,5	16194,75
1	6,5	5800	0,5	16003,89
1	6,5	5800	0,5	16041,25
1	6,5	5800	0,5	16139,23
1	6,5	5800	0,5	47069,15
1	6,5	5800	0,5	16311,06
1	6,5	5800	0,5	15912,90
1	6,5	5800	0,5	16536,57
2	8,5	5800	0,5	16051,09
2	8,5	5800	0,5	16881,77
2	8,5	5800	0,5	16341,57
2	8,5	5800	0,5	16180,10
2	8,5	5800	0,5	16177,69
2	8,5	5800	0,5	16313,18
2	8,5	5800	0,5	47211,69
2	8,5	5800	0,5	16508,16
2	8,5	5800	0,5	45159,66
2	8,5	5800	0,5	16677,66

Experimento	Estoque de Segurança (dias)	Capacidade (m³)	Espaço de segurança (dias)	Custo Total (R\$/dia)
3	6,5	6200	0,5	15897,37
3	6,5	6200	0,5	16706,14
3	6,5	6200	0,5	16202,93
3	6,5	6200	0,5	16004,30
3	6,5	6200	0,5	16041,25
3	6,5	6200	0,5	16143,15
3	6,5	6200	0,5	47072,26
3	6,5	6200	0,5	16311,42
3	6,5	6200	0,5	15914,20
3	6,5	6200	0,5	16539,09
4	8,5	6200	0,5	16056,94
4	8,5	6200	0,5	16883,24
4	8,5	6200	0,5	16354,61
4	8,5	6200	0,5	16182,83
4	8,5	6200	0,5	16176,35
4	8,5	6200	0,5	16318,88
4	8,5	6200	0,5	47219,45
4	8,5	6200	0,5	16510,82
4	8,5	6200	0,5	16073,10
4	8,5	6200	0,5	16687,25
5	6,5	5800	1,5	15889,19
5	6,5	5800	1,5	16701,01
5	6,5	5800	1,5	16187,71
5	6,5	5800	1,5	16002,89
5	6,5	5800	1,5	16040,73
5	6,5	5800	1,5	16136,60
5	6,5	5800	1,5	16079,56
5	6,5	5800	1,5	16311,95
5	6,5	5800	1,5	15912,11
5	6,5	5800	1,5	16532,40
6	8,5	5800	1,5	16046,02
6	8,5	5800	1,5	16878,61
6	8,5	5800	1,5	16333,30
6	8,5	5800	1,5	16178,04
6	8,5	5800	1,5	16174,61
6	8,5	5800	1,5	16305,34
6	8,5	5800	1,5	16217,09
6	8,5	5800	1,5	16505,35
6	8,5	5800	1,5	45155,71
6	8,5	5800	1,5	16669,20
7	6,5	6200	1,5	15894,58
7	6,5	6200	1,5	16705,17
7	6,5	6200	1,5	16200,08
7	6,5	6200	1,5	16004,49
7	6,5	6200	1,5	16041,25
7	6,5	6200	1,5	16142,32
7	6,5	6200	1,5	16084,45
7	6,5	6200	1,5	16311,18
7	6,5	6200	1,5	15913,39

Experimento	Estoque de Segurança (dias)	Capacidade (m ³)	Espaço de segurança (dias)	Custo Total (R\$/dia)
7	6,5	6200	1,5	16537,45
8	8,5	6200	1,5	16053,67
8	8,5	6200	1,5	16882,66
8	8,5	6200	1,5	16348,96
8	8,5	6200	1,5	16181,74
8	8,5	6200	1,5	16176,98
8	8,5	6200	1,5	16317,46
8	8,5	6200	1,5	16230,08
8	8,5	6200	1,5	16511,80
8	8,5	6200	1,5	16072,74
8	8,5	6200	1,5	16681,13
central	7,5	6000	1,0	15970,20
central	7,5	6000	1,0	16786,88
central	7,5	6000	1,0	16266,70
central	7,5	6000	1,0	16087,98
central	7,5	6000	1,0	16101,88
central	7,5	6000	1,0	16225,24
central	7,5	6000	1,0	16149,03
central	7,5	6000	1,0	16409,61
central	7,5	6000	1,0	15986,33
central	7,5	6000	1,0	16603,98

Tabela IV.ii.4: Estudo de Caso II - Condução dos experimentos - Projeto fatorial reduzido – segunda etapa

Experimento	Estoque de Segurança (dias)	Capacidade (m ³)	Espaço de segurança (dias)	Custo Total (R\$/dia)
1	6,5	5800	0,5	15892,34
1	6,5	5800	0,5	16702,88
1	6,5	5800	0,5	16194,75
1	6,5	5800	0,5	16003,89
1	6,5	5800	0,5	16041,25
1	6,5	5800	0,5	16139,23
1	6,5	5800	0,5	47069,15
1	6,5	5800	0,5	16311,06
1	6,5	5800	0,5	15912,90
1	6,5	5800	0,5	16536,57
2	8,5	5800	0,5	16051,09
2	8,5	5800	0,5	16881,77
2	8,5	5800	0,5	16341,57
2	8,5	5800	0,5	16180,10
2	8,5	5800	0,5	16177,69
2	8,5	5800	0,5	16313,18
2	8,5	5800	0,5	47211,69
2	8,5	5800	0,5	16508,16
2	8,5	5800	0,5	45159,66
2	8,5	5800	0,5	16677,66
3	6,5	6200	0,5	15897,37

Experimento	Estoque de Segurança (dias)	Capacidade (m³)	Espaço de segurança (dias)	Custo Total (R\$/dia)
3	6,5	6200	0,5	16706,14
3	6,5	6200	0,5	16202,93
3	6,5	6200	0,5	16004,30
3	6,5	6200	0,5	16041,25
3	6,5	6200	0,5	16143,15
3	6,5	6200	0,5	47072,26
3	6,5	6200	0,5	16311,42
3	6,5	6200	0,5	15914,20
3	6,5	6200	0,5	16539,09
4	8,5	6200	0,5	16056,94
4	8,5	6200	0,5	16883,24
4	8,5	6200	0,5	16354,61
4	8,5	6200	0,5	16182,83
4	8,5	6200	0,5	16176,35
4	8,5	6200	0,5	16318,88
4	8,5	6200	0,5	47219,45
4	8,5	6200	0,5	16510,82
4	8,5	6200	0,5	16073,10
4	8,5	6200	0,5	16687,25
5	6,5	5800	1,5	15889,19
5	6,5	5800	1,5	16701,01
5	6,5	5800	1,5	16187,71
5	6,5	5800	1,5	16002,89
5	6,5	5800	1,5	16040,73
5	6,5	5800	1,5	16136,60
5	6,5	5800	1,5	16079,56
5	6,5	5800	1,5	16311,95
5	6,5	5800	1,5	15912,11
5	6,5	5800	1,5	16532,40
6	8,5	5800	1,5	16046,02
6	8,5	5800	1,5	16878,61
6	8,5	5800	1,5	16333,30
6	8,5	5800	1,5	16178,04
6	8,5	5800	1,5	16174,61
6	8,5	5800	1,5	16305,34
6	8,5	5800	1,5	16217,09
6	8,5	5800	1,5	16505,35
6	8,5	5800	1,5	45155,71
6	8,5	5800	1,5	16669,20
7	6,5	6200	1,5	15894,58
7	6,5	6200	1,5	16705,17
7	6,5	6200	1,5	16200,08
7	6,5	6200	1,5	16004,49
7	6,5	6200	1,5	16041,25
7	6,5	6200	1,5	16142,32
7	6,5	6200	1,5	16084,45
7	6,5	6200	1,5	16311,18
7	6,5	6200	1,5	15913,39
7	6,5	6200	1,5	16537,45

Experimento	Estoque de Segurança (dias)	Capacidade (m ³)	Espaço de segurança (dias)	Custo Total (R\$/dia)
8	8,5	6200	1,5	16053,67
8	8,5	6200	1,5	16882,66
8	8,5	6200	1,5	16348,96
8	8,5	6200	1,5	16181,74
8	8,5	6200	1,5	16176,98
8	8,5	6200	1,5	16317,46
8	8,5	6200	1,5	16230,08
8	8,5	6200	1,5	16511,80
8	8,5	6200	1,5	16072,74
8	8,5	6200	1,5	16681,13
central	7,5	6000	1,0	15970,20
central	7,5	6000	1,0	16786,88
central	7,5	6000	1,0	16266,70
central	7,5	6000	1,0	16087,98
central	7,5	6000	1,0	16101,88
central	7,5	6000	1,0	16225,24
central	7,5	6000	1,0	16149,03
central	7,5	6000	1,0	16409,61
central	7,5	6000	1,0	15986,33
central	7,5	6000	1,0	16603,98

APÊNDICE V – FORMULAÇÃO QUANTITATIVA

1. Média móvel

A média móvel \bar{y}_i de uma série de dados de tamanho m $x_k \in \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ é definida pela expressão:

$$\bar{y}_i(m) = \frac{1}{m} \sum_{k=i-m+1}^i x_k \quad \text{para } i = m, m+1, \dots$$

A idéia da média móvel é calcular a média de uma “janela” de m pontos correspondentes a m observações anteriores junto com a observação atual, de modo a se ter uma idéia da ordem de grandeza do valor esperado da variável considerando os valores mais atuais (CHWIF et MEDINA, 2006, cap. 6, seção 6.8.3, pág. 129).

2. Natureza estocástica. Resultados independentes e identicamente distribuídos

Sejam Y_1, Y_2, \dots, Y_m resultados de um processo estocástico, provenientes de uma única simulação. São variáveis dependentes. Seja $y_{11}, y_{12}, \dots, y_{1m}$ um conjunto de m valores da variável aleatória Y , resultante da primeira simulação, cujos respectivos números aleatórios utilizados foram $u_{11}, u_{12}, \dots, u_{1m}$. Na segunda simulação teríamos $y_{21}, y_{22}, \dots, y_{2m}$, gerados pelos respectivos números aleatórios $u_{21}, u_{22}, \dots, u_{2m}$. Generalizando, para n replicações da simulação, com m valores, teríamos:

$$\begin{vmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdot & \cdot & y_{1m} \\ y_{21} & y_{22} & \cdot & \cdot & y_{2m} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ y_{n1} & y_{n2} & \cdot & \cdot & y_{nm} \end{vmatrix}$$

Resultados de uma mesma simulação (linha) não são IID (independentes e identicamente distribuídos), mas resultados do mesmo indicador, para diferentes simulações (coluna), sim (LAW et KELTON, 1991, cap. 9, seção 9.1, pág 523).

3. Comportamento de um processo estocástico – Estados transiente e de regime

Seja o processo estocástico Y_1, Y_2, \dots, Y_m e uma função $F_i(y | I) = P(Y_i \leq y | I)$, para $i = 1, 2, \dots, m$, onde y é um número real, e I representa as **condições iniciais**, utilizadas para a partida da simulação no tempo 0. $F_i(y | I)$ é

chamada de **distribuição transiente** do processo resultante, no instante i , sob as condições iniciais, e $P(Y_i \leq y | I)$ é a probabilidade (condicionada) de ocorrência do evento $(Y_i \leq y)$, sob as condições iniciais. Cada variável aleatória Y_{ij} possui uma função de **densidade de probabilidade** $f_{Y_{ij}}$. Quando o processo estocástico entra no **estado de regime**, temos:

$$F_i(y | I) \rightarrow F(y), i \rightarrow \infty$$

para todo valor de y , e quaisquer condições iniciais I . $F(y)$ é chamada de **distribuição do processo resultante Y_i em estado de regime**, a qual não depende das condições iniciais. Em termos práticos, pode-se conseguir uma aproximação do estado de regime, para um valor k suficientemente elevado, do índice i , a partir do qual, a variação da função de distribuição de Y é muito pequena. Isto não significa que o processo estocástico Y_1, Y_2, \dots, Y_m apresentará respectivamente os mesmos valores, quando em estado de regime, mas sim, que esses valores possuirão uma distribuição de probabilidade aproximadamente igual. A taxa de variação até que seja atingida a convergência das distribuições transientes, todavia, dependerá ainda das condições iniciais (LAW et KELTON, 1991, cap. 9, seção 9.2, pág 524-525).

4. Procedimento de Welch para determinação analítica da duração da fase transiente de uma simulação

Considere a matriz $n \times m$ contendo os resultados das replicações da simulação, conforme o item 1 acima. O procedimento de Welch calcula a média dos valores das n replicações (colunas da matriz) em instantes fixos de tempo j . O objetivo é determinar a tendência dos dados em função das condições iniciais do sistema. Os passos são os seguintes:

4.1. Executar uma rodada da simulação contendo mais do que 5 replicações ($n > 5$), sendo cada uma de longa duração (m elevado). Seja x_{ij} uma observação no instante j ($j = 1, 2, \dots, m$), para a replicação i ($i = 1, 2, \dots, n$).

4.2. Calcula-se a média de cada lote j :

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}, \text{ para } (j = 1, 2, \dots, m).$$

Ou seja, \bar{x}_j representa a média das observações no instante j , sendo denominada **média agrupada**.

4.3. Para suavizar os efeitos das oscilações presentes na série $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m$, obtida anteriormente, constrói-se a seguinte média móvel:

$$\bar{y}_j(w) = \begin{cases} \frac{1}{(2j-1)} \sum_{k=-(j-1)}^{j-1} \bar{x}_{j+k}, & j = 1, \dots, w \quad (A) \\ \frac{1}{(2w+1)} \sum_{k=-w}^w \bar{x}_{j+k}, & j = w+1, \dots, m-w \quad (B) \end{cases}$$

No caso da expressão (B), w é um número inteiro que representa a extensão da média móvel (janela) acima e abaixo do valor central $\bar{y}_j(w)$. Para $j < w+1$, a expressão (A) também fornece a média móvel centrada em j , calculada com menor número de parcelas.

4.4. Traça-se o gráfico da média móvel $\bar{y}_j(w)$ para alguns valores de w , identificando o ponto em que as curvas parecem convergir. Se não se consegue um valor de w satisfatório, repete-se o procedimento para novas n replicações.

(CHWIF et MEDINA, 2006, cap. 6, seção 6.10, pág. 145)

5. Cálculo do número de replicações necessário para redução do intervalo de confiança para simulação de sistemas terminantes (redução da variância)

Para uma variável de saída (indicador) do modelo de simulação, a amplitude do intervalo de confiança da média pode ser deduzida a partir da fórmula apresentada no capítulo 2, seção 2.2.2:

$$n = t_{n-1, 1-\alpha/2}^2 \frac{s^2}{h^2}$$

sendo n é o número de replicações a determinar;
 s é o desvio-padrão da amostra;
 α é o nível de confiança adotado;
 h é o valor da meia-largura desejado para o intervalo de confiança;
 $t_{n-1, 1-\alpha/2}$ é o valor crítico superior da distribuição t de Student com $n-1$ graus de liberdade para um nível de confiança α .

A relação acima não explicita n , pois o valor crítico da distribuição t de Student e o desvio-padrão da amostra são também dependentes de n . Para valores de n acima de 30, $t_{n-1, 1-\alpha/2}$ pode ser substituído pelo valor crítico da distribuição normal, supondo que o desvio-padrão não muda.

$$n = z_{1-\alpha/2}^2 \frac{s^2}{h^2}$$

sendo $z_{1-\alpha/2}$ é o valor crítico superior da distribuição normal para um nível de confiança α .

Para fins de cálculo aproximado de n , vale a relação proporcional seguinte:

$$n = n_0 \frac{h_0^2}{h^2}$$

sendo n_0 é o número inicial de replicações e h_0 o valor correspondente da meia-largura para o intervalo de confiança.

(KELTON, SADOWSKI, et STURROCK, 2004, cap. 6, seção 6.3, pág. 261-262).

6. Resultados de Indicadores Relacionados a Custos

6.1. O custo do estoque nas Bases é calculado pela expressão:

$$C_{estoque} = i_A \times \sum_j p_j E_T(j)$$

sendo i_A a taxa de atratividade acumulada, p o preço e $E_T(j)$ a média do estoque total de cada produto j , no sistema. 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 correspondente ao período unitário.

6.2. Se houver degradação de uma parte do volume V_{degr} de um determinado produto, de preço p_1 para outro, de preço p_2 , sendo $p_1 > p_2$, o custo correspondente será:

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

sendo $m\%$ a margem de lucro na venda dos produtos. A parcela de custo assim calculada será criada prontamente, ao se decidir pela degradação do volume V_{degr} . Não deverá incidir sobre ela a taxa de atratividade correspondente ao volume imobilizado em estoque, pois este já estará contido no estoque médio do produto resultante da degradação.

6.3. A decisão tomada acima, para diminuir a falta do *produto_2*, deverá ter um custo menor ou igual ao da alternativa de se deixar faltar a parcela correspondente do *produto_2*. Considerando a parcela de custo correspondente às faltas recuperáveis, temos:

$$C_{falta_recup} = p_2 \times V_{falta_recup_degr} \times i_A \cdot (1 + m\%)$$

sendo $V_{falta_recup_degr}$ a parcela de volume do *produto_1* que está sendo degradado para reduzir a falta recuperável do *produto_2*. A degradação para esse fim será economicamente viável se:

$$(p_1 - p_2) \cdot V_{falta_recup_degr} \cdot (1 + m\%) \leq p_2 \times V_{falta_recup_degr} \times i_A \cdot (1 + m\%)$$

$$\Rightarrow \boxed{p_1 \leq p_2 \cdot (1 + i_A)}$$

6.4. Analogamente, considerando a parcela de custo correspondente às faltas irrecuperáveis, temos:

$$C_{falta_n\tilde{a}o_recup} = p_2 \times V_{falta_n\tilde{a}o_recup_degr} \cdot (1 + m\%)$$

e a viabilidade econômica da degradação para reduzi-las condicionada a:

$$\boxed{p_1 \leq 2p_2}$$

sendo $V_{falta_n\tilde{a}o_recup_degr}$ o volume do *produto_1* que está sendo degradado para reduzir a falta irrecuperável do *produto_2*.

6.5. De modo análogo, as respectivas degradações do *produto_1* para o *produto_2* alocadas para se reduzir a sobre-estadia em cada modal k de abastecimento terão sua viabilidade econômica condicionada a:

$$\boxed{p_1 \leq p_2 + \frac{c_k}{A_k} \times \frac{1}{(1 + m\%)}}$$

sendo c_k e A_k respectivamente o custo diário de um veículo ou equipamento de transporte paralisado, e a sua capacidade em volume.

6.6. De modo análogo, a degradação do *produto_1* para o *produto_2* a fim de se reduzir as sobras do *produto_1* será economicamente viável, se:

$$\boxed{p_1 \leq \frac{p_2(1 + m\%)}{(1 + m\% - i_A)}}$$

6.7. Se o produto *produto_1* que está sendo degradado e o produto resultante da degradação (*produto_2*) possuem margens de lucro diferentes, respectivamente iguais a $m_1\%$ e $m_2\%$, as modificações correspondentes às fórmulas acima serão:

6.7.1. Para o custo da degradação:

$$C_{degr} = V_{degr} \cdot [p_1(1 + m_1\%) - p_2(1 + m_2\%)]$$

6.7.2. Para a viabilidade da degradação para reduzir faltas recuperáveis:

$$p_1 \leq p_2 \cdot (1 + i_A) \cdot \frac{1 + m_2 \%}{1 + m_1 \%}$$

6.7.3. Para a viabilidade da degradação para reduzir faltas irre recuperáveis:

$$p_1 \leq 2p_2 \cdot \frac{1 + m_2 \%}{1 + m_1 \%}$$

6.7.4. Para a viabilidade da degradação para reduzir sobre-estadias:

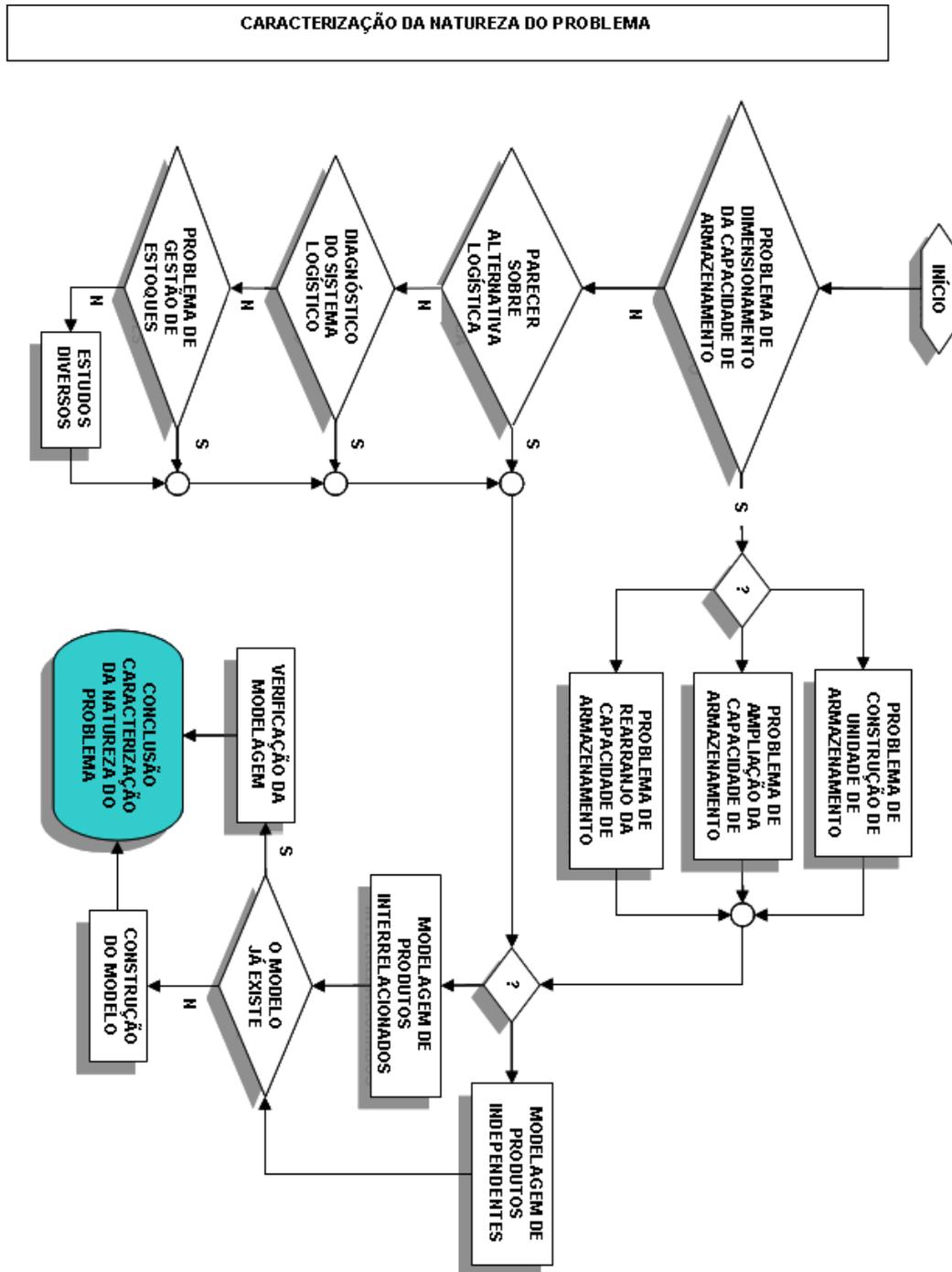
$$p_1 \leq p_2 \cdot \frac{1 + m_2 \%}{1 + m_1 \%} + \frac{c_k}{A_k} \times \frac{1}{(1 + m_1 \%)}$$

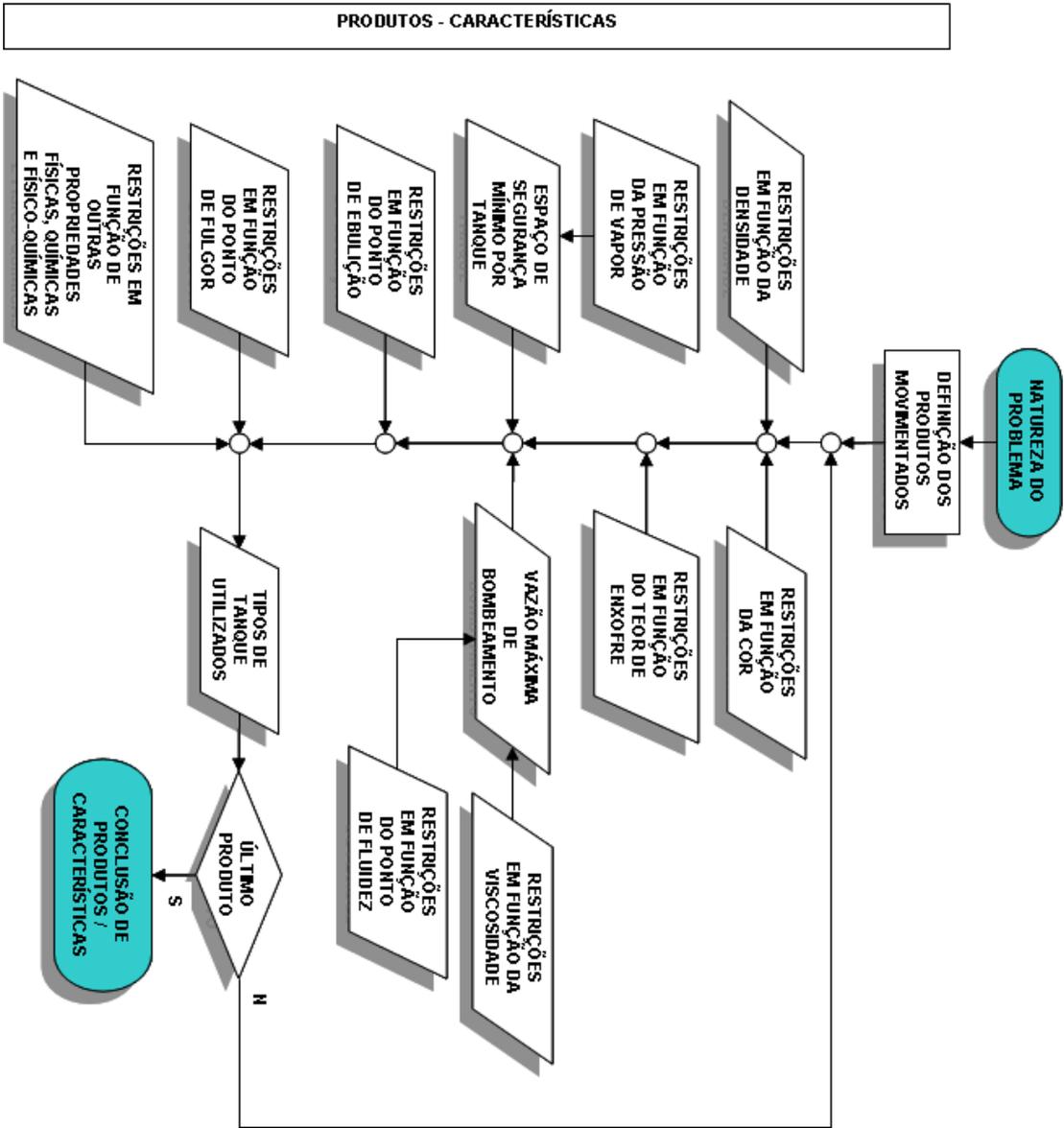
6.7.5. Para a viabilidade da degradação para reduzir sobras de produto:

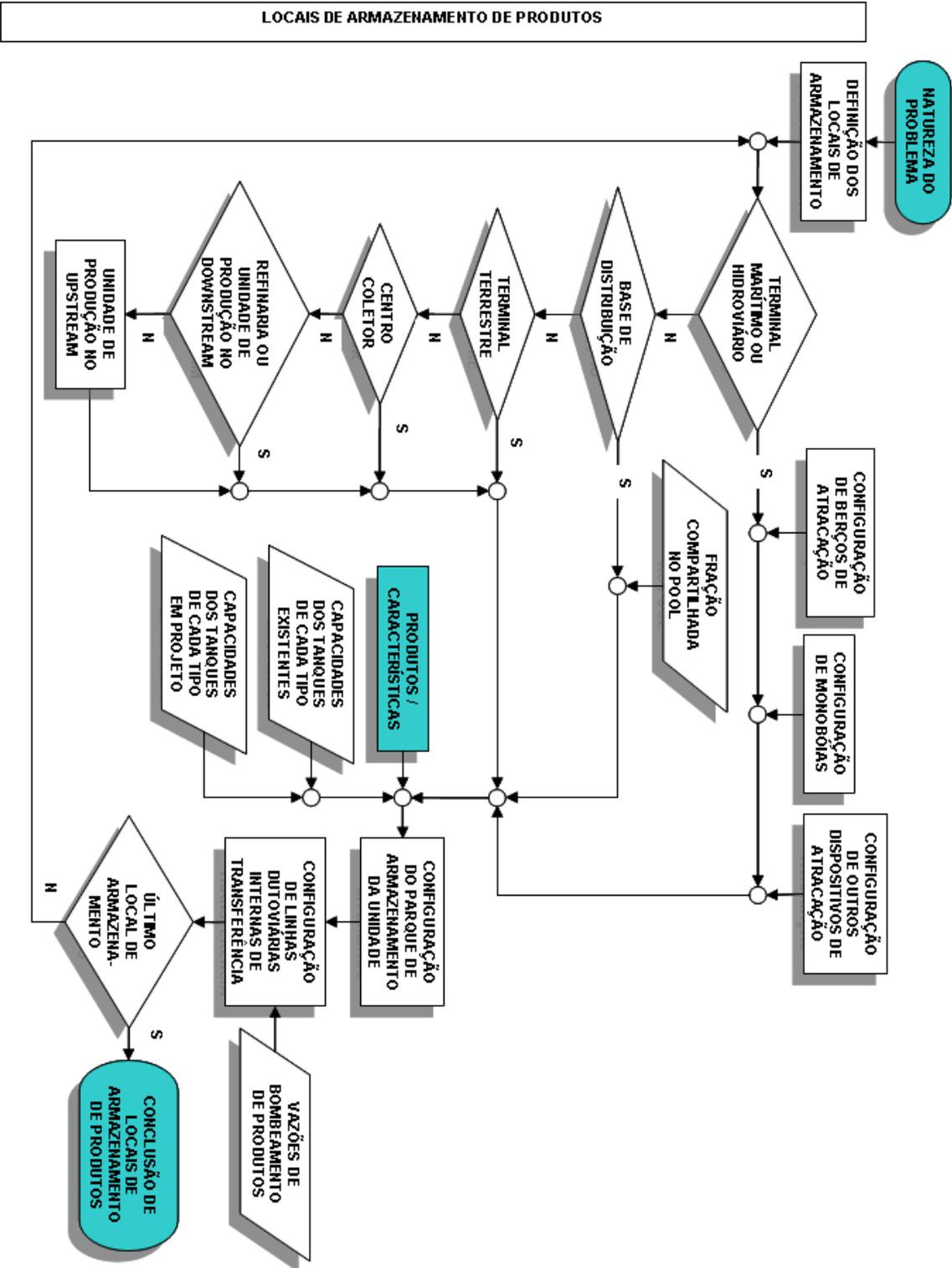
$$p_1 \leq p_2 \cdot \frac{1 + m_2 \%}{1 + m_1 \% - i_A}$$

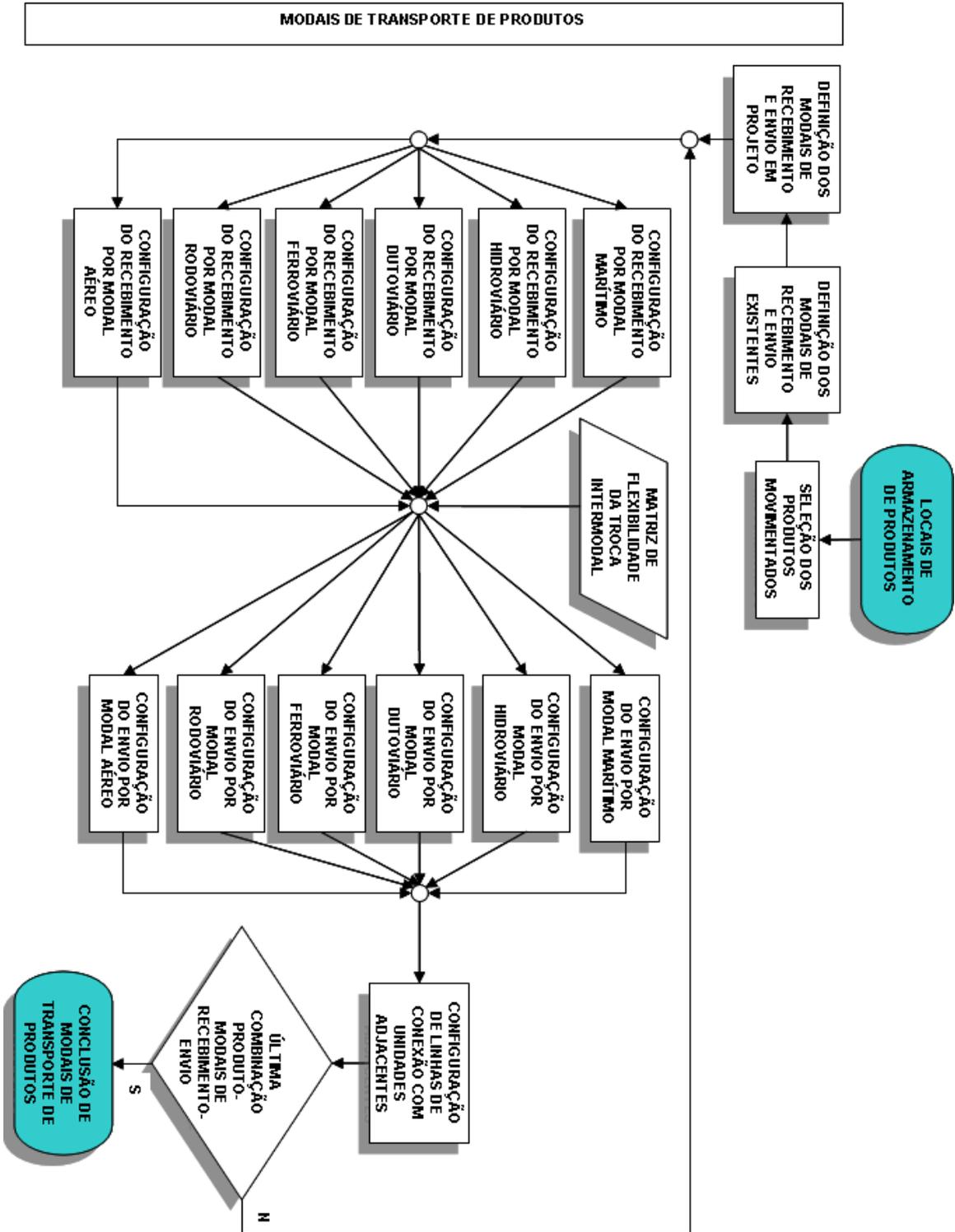
APÊNDICE VI – DIAGRAMAS, FLUXOGRAMAS, MAPAS

APÊNDICE VI.1 – A MODELAGEM DO PROBLEMA

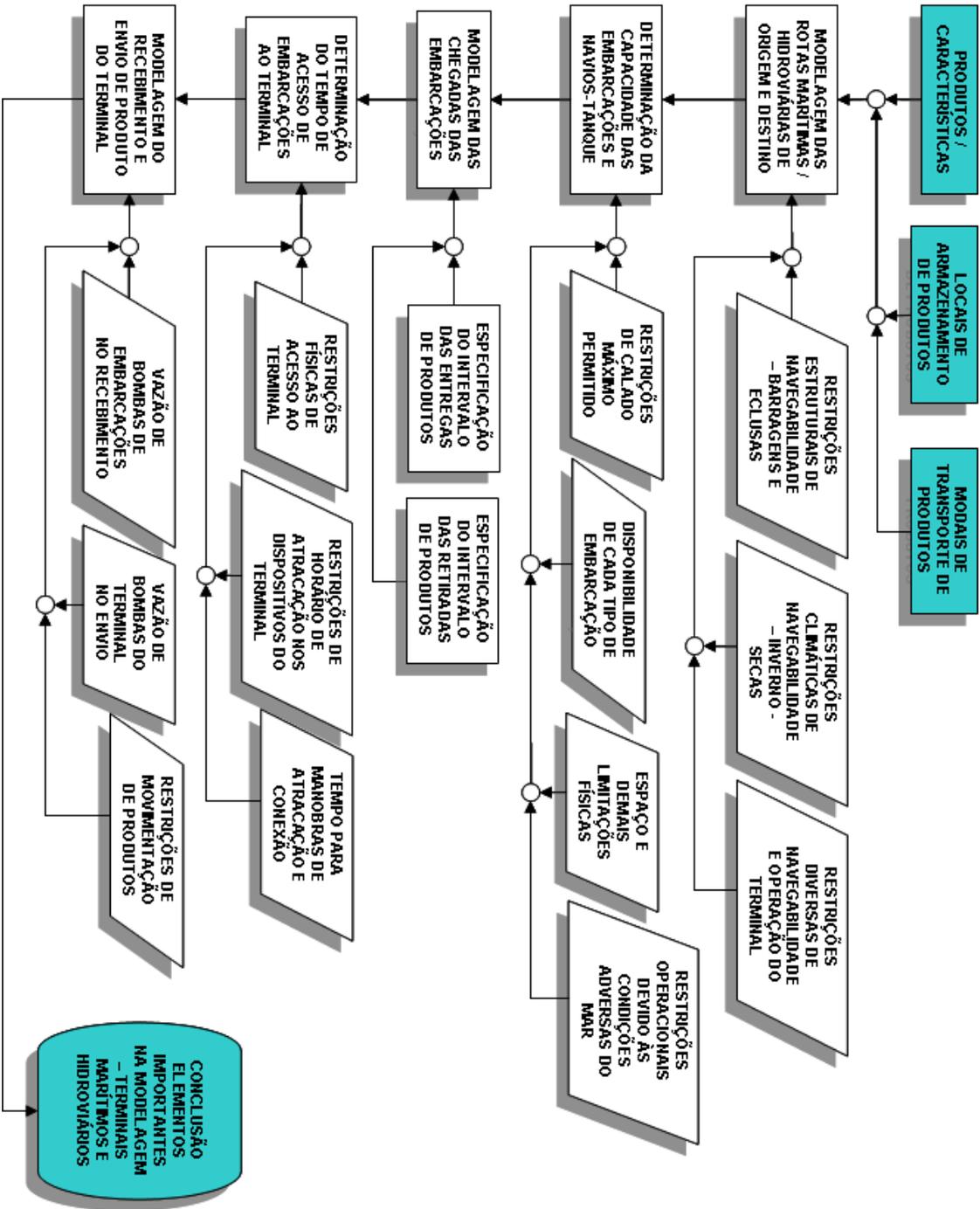




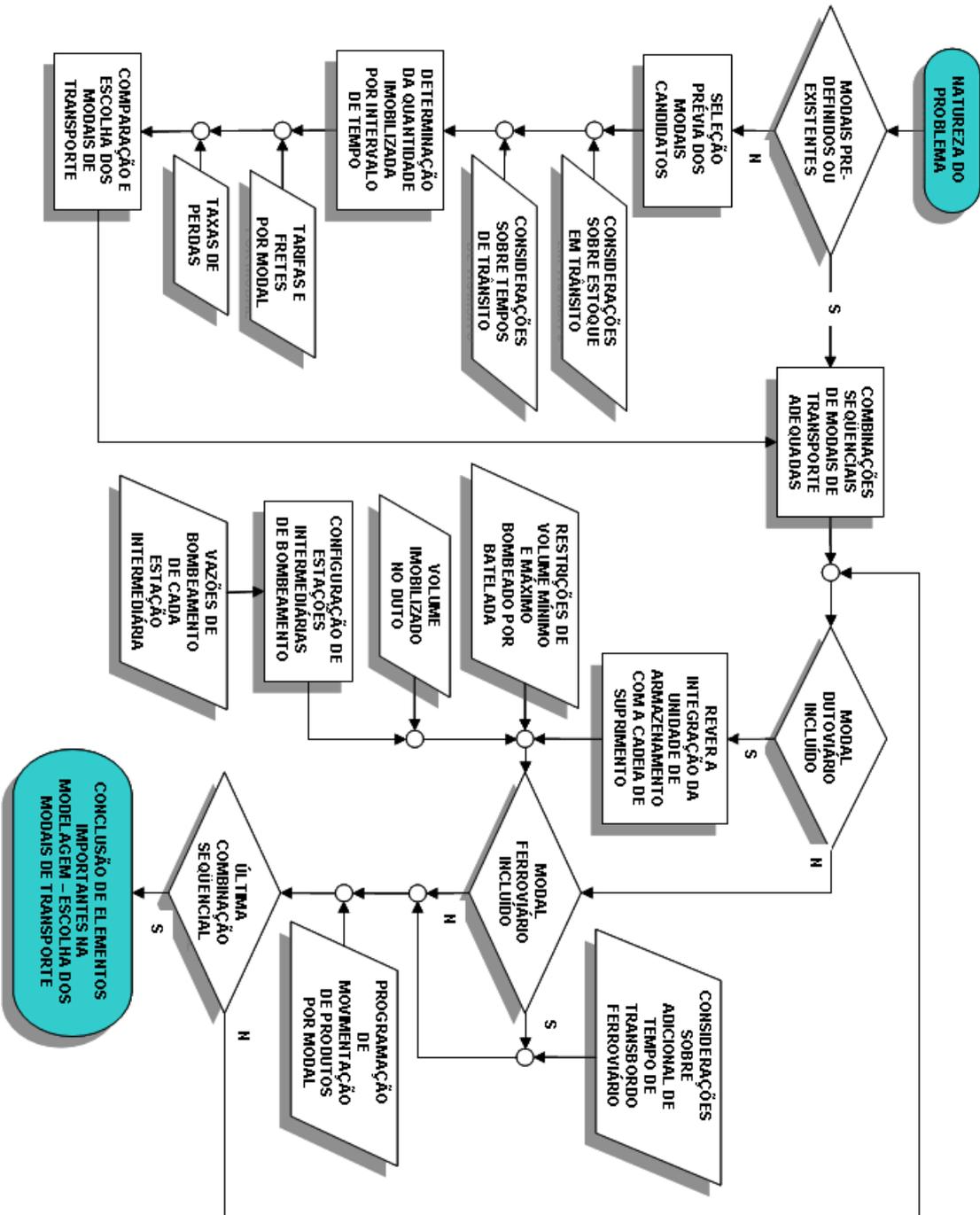


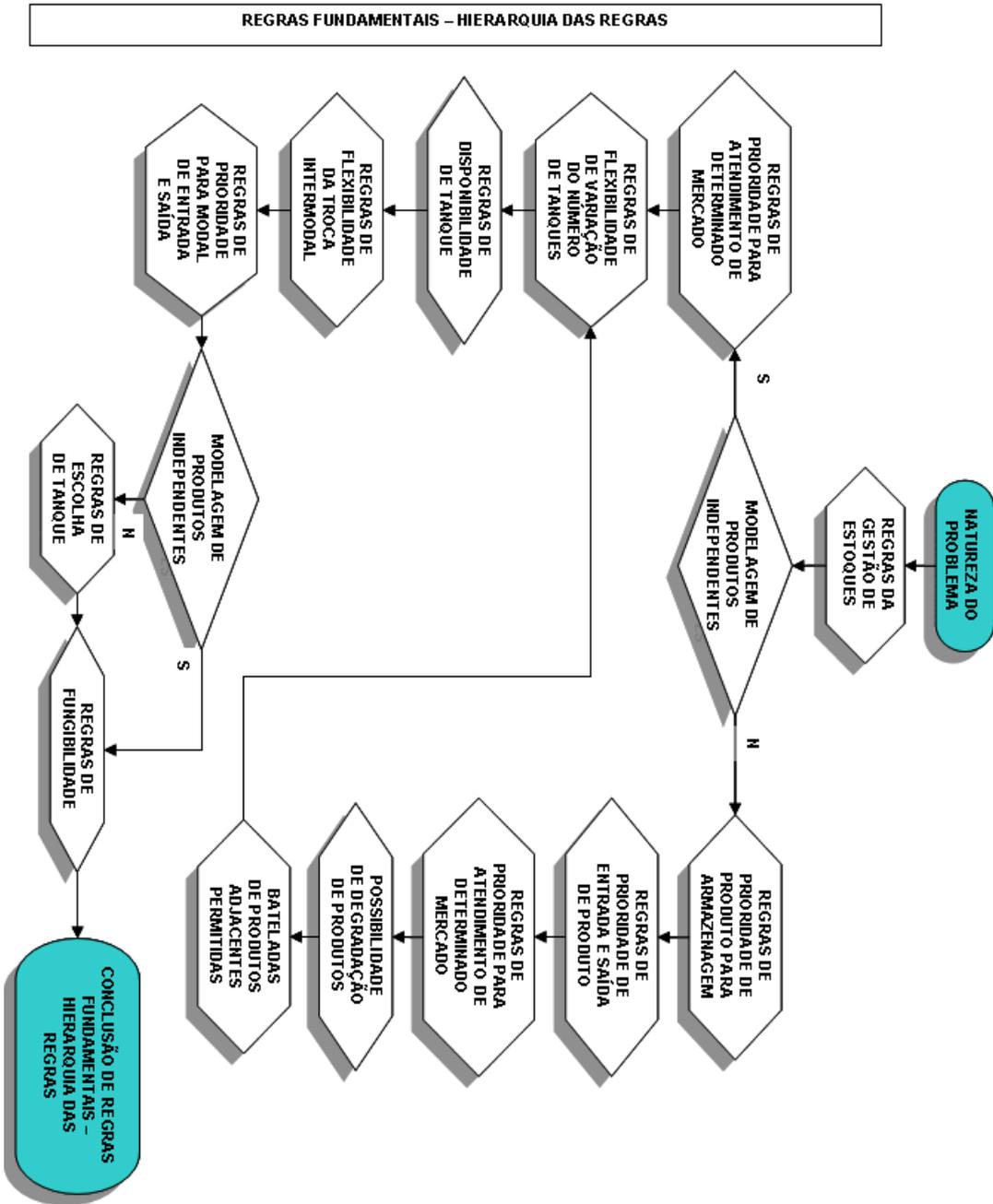


ELEMENTOS IMPORTANTES NA MODELAGEM – TERMINAIS MARÍTIMOS E HIDROVIÁRIOS

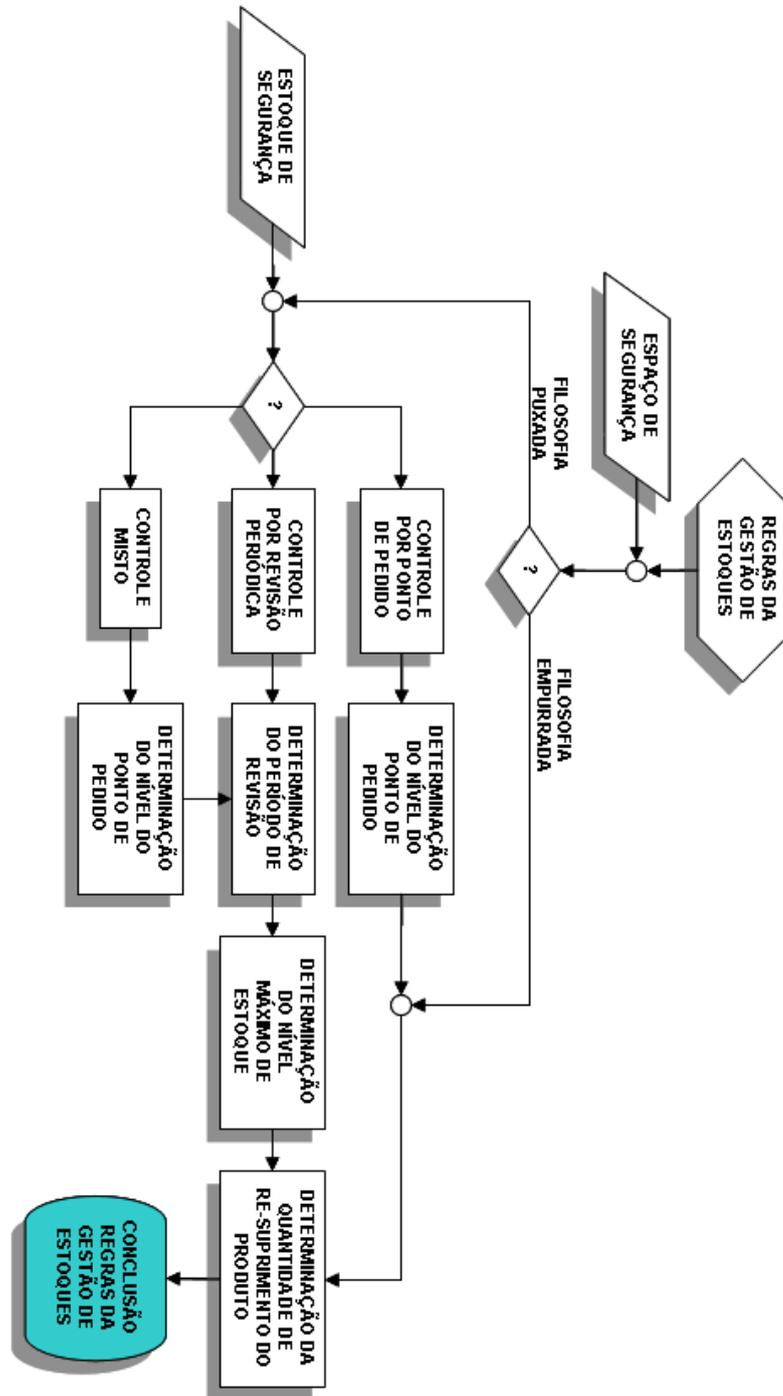


ELEMENTOS IMPORTANTES NA MODELAGEM – ESCOLHA DOS MODAIS DE TRANSPORTE

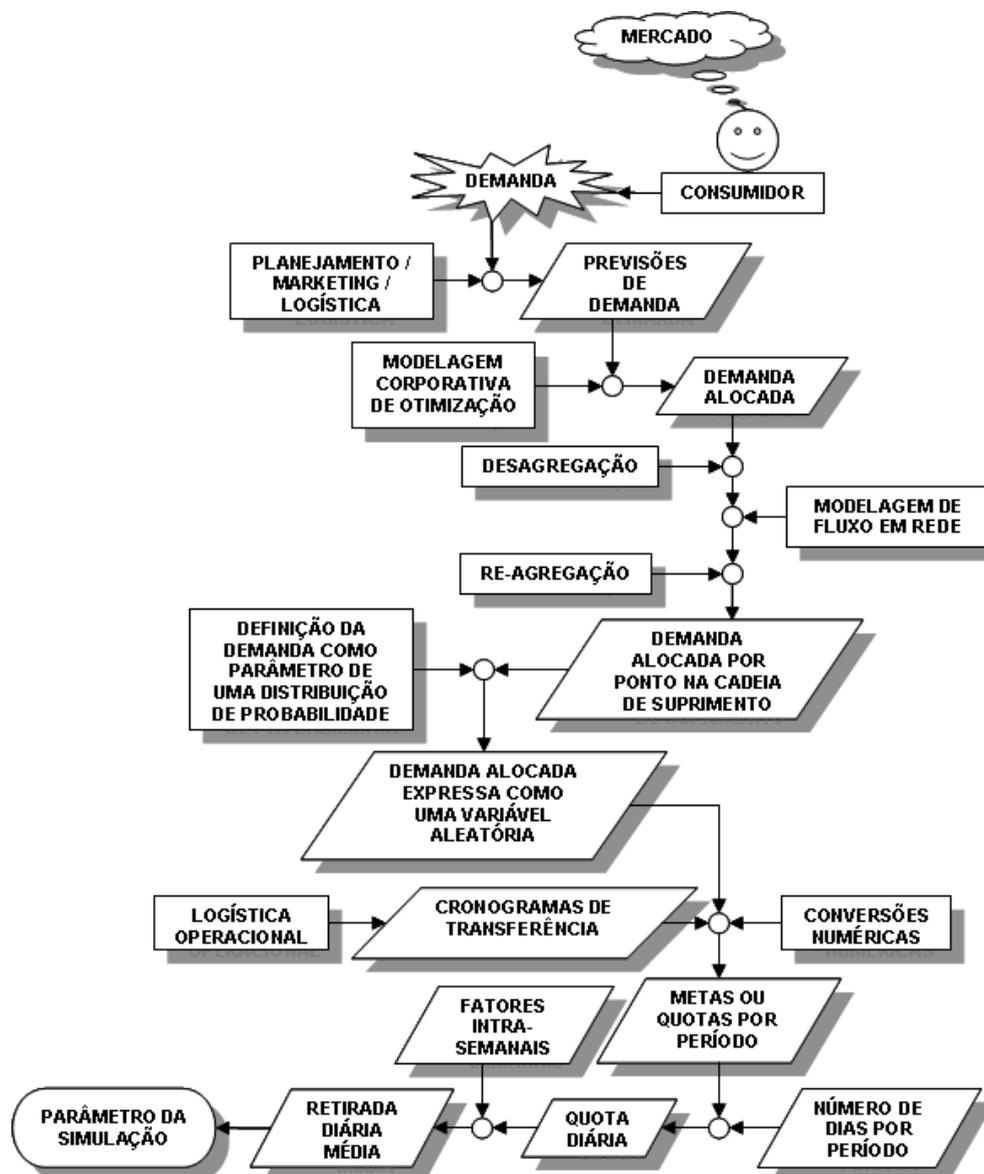




REGRAS FUNDAMENTAIS – GESTÃO DE ESTOQUES



APÊNDICE VI.2 – FLUXO DE INFORMAÇÕES – DEMANDA



APÊNDICE VI.3 – ANÁLISE DE PROJETOS FATORIAIS E MÉTODO DA SUPERFÍCIE DE RESPOSTA

