



**COPPE/UFRJ**

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE LOGÍSTICA DE UMA REDE DUTO-  
RODOVIÁRIA DE DISTRIBUIÇÃO DE DERIVADOS DE PETRÓLEO  
UTILIZANDO SIMULAÇÃO POR EVENTOS DISCRETOS

Carlos José Nunes de Sousa

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Virgílio José Martins Ferreira Filho.

Rio de Janeiro  
Outubro de 2010

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE LOGÍSTICA DE UMA REDE DUTO-  
RODOVIÁRIA DE DISTRIBUIÇÃO DE DERIVADOS DE PETRÓLEO  
UTILIZANDO SIMULAÇÃO POR EVENTOS DISCRETOS

Carlos José Nunes de Sousa

DISERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO  
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA  
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE  
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE  
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Examinada por:

---

Prof. Virgílio José Martins Ferreira Filho, D. SC.

---

Prof. Eduardo Saliby, Ph. D.

---

Prof. Mário Jorge Ferreira de Oliveira, Ph. D.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

OUTUBRO DE 2010

Sousa, Carlos José Nunes de

Avaliação da capacidade logística de uma rede dutorodoviária de distribuição de derivados de petróleo utilizando simulação por eventos discretos / Carlos José Nunes de Sousa. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010.

XIII, 146 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Virgílio José Martins Ferreira Filho

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Produção, 2010.

Referencias Bibliográficas: p. 122-127.

1. Simulação. 2. Cadeia de Suprimentos. 3. Eficiência Logística. 4. Transporte. I. Ferreira Filho, Virgílio José Martins. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título.

Aos meus pais João e Sueli,  
À minha esposa, Sílvia, e  
Às minhas filhas, Júlia e Mariana.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Virgílio José Martins Ferreira Filho pela orientação deste trabalho.

Aos professores Eduardo Saliby e Mário Jorge Ferreira de Oliveira por aceitarem o convite para participar da banca examinadora.

À secretária da Pesquisa Operacional, Andréa Lima da Silva Moreira pela ajuda durante o curso.

Aos colegas da gerência de Distribuição Logística e Transporte da Petrobras, pelas contribuições e incentivos, especialmente para Luiz Fernando e Marcelo Souza pelas sugestões, apoio e colaborações realizadas durante o desenvolvimento do trabalho.

À gerência de Gestão de Portfólios da área de abastecimento da Petrobras e à Transpetro pelas informações e atenção dispensada.

Ao CENPES/PETROBRAS pela disponibilização dos recursos para a realização do curso de mestrado.

À minha mãe pela dedicação e amor, fundamentais para as minhas conquistas. À minha família pelo apoio e amizade.

À minha esposa, Sílvia, pela compreensão, incentivo e paciência.

À minhas filhas, Júlia e Mariana, felicidade e motivação da minha vida.

A Deus, pela vida.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau Mestre em Ciências (M.Sc.)

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE LOGÍSTICA DE UMA REDE DUTO-  
RODOVIÁRIA DE DISTRIBUIÇÃO DE DERIVADOS DE PETRÓLEO  
UTILIZANDO SIMULAÇÃO POR EVENTOS DISCRETOS

Carlos José Nunes de Sousa

Outubro / 2010

Orientador: Virgílio José Martins Ferreira Filho

Programa: Engenharia de Produção

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da capacidade logística de uma rede duto-rodoviária de distribuição de derivados combustíveis de petróleo. Os principais elementos analisados são o poliduto OSBRA, e os terminais de Ribeirão Preto, Uberaba, Uberlândia, Goiânia e Brasília, abastecidos com diesel, gasolina e GLP.

A metodologia é baseada em simulação por eventos discretos. O modelo desenvolvido reproduz a dinâmica do sistema e os procedimentos operacionais, além de permitir avaliação da capacidade logística da cadeia quando submetida à variação da demanda e ao aumento do número de produtos movimentados.

No desenvolvimento do trabalho é apresentada uma descrição do sistema real e as premissas adotadas para construção do modelo computacional. Além disso, foram criados cenários com alternativas para melhorar o desempenho logístico do sistema e definidos indicadores para avaliação dos resultados.

Abstract of Dissertation presented to COPPE / UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

EVALUATION OF A LOGISTICS NETWORK ROAD-DUCT DISTRIBUTION OF  
OIL DERIVATIVES CAPACITY USING DISCRETE EVENT SIMULATION

Carlos José Nunes de Sousa

October / 2010

Advisor: Virgílio José Martins Ferreira Filho

Department: Production Engineering

This dissertation presents the development of a methodology to evaluate logistical capacity of a duct-road network for the distribution of fuels derived from petroleum. The main elements analyzed are the poliduct OSBRA, and the terminals of Ribeirão Preto, Uberaba, Uberlândia, Goiânia and Brasília, fueled by diesel, gasoline and LPG.

The methodology is based on discrete event simulation. The model reproduces the dynamics and operating environment, and allows evaluation of logistics chain capacity when submitted to demand variation and the increased number of products moved.

A description of the real system is detailed, as well as the assumptions considered to build the model. Furthermore, scenarios were created with alternatives to improve system performance and some indicators defined for results' evaluation.

# SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....	1
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	1
1.2 MOTIVAÇÃO.....	4
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	5
CAPÍTULO II.....	7
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1 LOGÍSTICA E CADEIA DE SUPRIMENTO.....	7
2.2 TRANSPORTE.....	13
2.3 SIMULAÇÃO.....	18
2.3.1 Tipos de Simulação.....	21
2.3.2 Etapas de Desenvolvimento de Estudos de Simulação.....	23
2.3.3 Vantagens e Desvantagens da Simulação.....	24
CAPÍTULO III.....	28
3 A CADEIA DE SUPRIMENTO DO OSBRA.....	28
3.1 A PETROBRAS.....	28
3.2 A CADEIA DE DISTRIBUIÇÃO DE DERIVADOS DE PETRÓLEO.....	30
3.3 O POLIDUTO OSBRA.....	33
3.4 OS TERMINAIS DE DISTRIBUIÇÃO.....	37
3.5 A CAPACIDADE DO POLIDUTO.....	41
CAPÍTULO IV.....	45
4 CONSTRUÇÃO DOS MODELOS CONCEITUAL E COMPUTACIONAL.....	45
4.1 MODELO CONCEITUAL.....	46
4.1.1 A Essência do Problema.....	47
4.1.2 Abrangência.....	48
4.1.3 Processos Modelados e Restrições.....	51
4.1.4 Interfaces do modelo.....	55
4.1.5 Parâmetros de Entrada.....	58
4.1.6 Simplificações Internas.....	59
4.2 MODELO COMPUTACIONAL.....	60
4.2.1 Interface de Entrada de Dados.....	62
4.2.2 Lógicas de Simulação.....	67



4.2.3	Tempo de Simulação e Aquecimento .....	78
4.2.4	Número de Replicações .....	79
CAPÍTULO V .....		81
5	CENÁRIOS E RESULTADOS .....	81
5.1	CONSTRUÇÃO DOS CENÁRIOS E RESULTADOS .....	82
5.1.1	Cenário de Validação .....	82
5.1.2	Cenários de Avaliação da Capacidade Futura .....	83
5.2	COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS .....	111
CAPÍTULO VI .....		117
6	CONCLUSÕES .....	117
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		122
APÊNDICES .....		128
A.	GLOSSÁRIO .....	129
B.	VARIAÇÃO DOS ESTOQUES NOS TERMINAIS .....	135
B.1.	Cenário I – Variação dos estoques ao longo do tempo de simulação .....	135
B.2.	Cenário II – Variação dos estoques ao longo do tempo de simulação .....	136
B.3.	Cenário III – Variação dos estoques ao longo do tempo de simulação .....	138
B.4.	Cenário IV – Variação dos estoques ao longo do tempo de simulação .....	140
B.5.	Cenário V – Variação dos estoques ao longo do tempo de simulação .....	141
B.6.	Cenário VI – Variação dos estoques ao longo do tempo de simulação .....	143
B.7.	Cenário VII – Variação dos estoques ao longo do tempo de simulação .....	145

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1: Suprimento total de energia no mundo - Fonte OECD/IEA (2009).....	1
Figura 1-2: Venda dos derivados de petróleo no Brasil – Fonte ANP (2009a).....	2
Figura 1-3: Infra-estrutura de produção e movimentação de petróleo e derivados – Fonte ANP (2009a).....	3
Figura 2-1: Entradas, saídas e realimentação de um modelo de simulação. ....	19
Figura 3-1: Modelo conceitual da matriz de transportes de transferência.....	31
Figura 3-2: Esquema simplificado da cadeia de distribuição de derivados de petróleo. ....	31
Figura 3-3: Modais de transporte tipicamente utilizados .....	32
Figura 3-4: Área de abrangência do sistema de distribuição do OSBRA .....	34
Figura 3-5: Seqüenciamento de produtos no OSBRA.....	34
Figura 3-6: Esquema de interligação de entrega do terminal de Ribeirão Preto .....	39
Figura 3-7: Fluxo de informações e produtos na cadeia de suprimentos .....	42
Figura 4-1: Esquema do duto representando as vazões num ponto de sangria .....	59
Figura 4-2: Fluxo de dados do modelo.....	61
Figura 4-3: Seqüência lógica de blocos para utilização dos recursos tanque.....	67
Figura 4-4: Frequência e dependência entre sub-rotinas .....	69
Figura 4-5: Parte do esquema da lógica de inicialização.....	70
Figura 4-6: Esquema da lógica de controle do horário de funcionamento .....	71
Figura 4-7: Esquema da lógica de Armazenamento dos produtos na refinaria .....	72
Figura 4-8: Esquema da lógica da geração da demanda no terminal de Ribeirão Preto ..	73
Figura 4-9: Esquema da lógica do atendimento da demanda no terminal de Uberaba ..	75
Figura 4-10 Esquema da lógica – blocos utilizados para ordenação das bateladas.....	76
Figura 5-1: Estoque de diesel 0,001% S em Goiânia - Cenário I.....	93
Figura 5-2: Estoque de diesel 0,001% S em Goiânia - Cenário II .....	96
Figura 5-3: Estoque de diesel 0,001% S em Goiânia - Cenário III .....	99
Figura 5-4: Estoque de diesel 0,001% S em Goiânia - Cenário IV .....	103
Figura 5-5: Estoque de diesel 0,001% S em Goiânia - Cenário V .....	106
Figura 5-6: Estoque de diesel 0,001% S em Goiânia – Cenário VI .....	108
Figura 5-7: Estoque de diesel 0,001% S em Goiânia - Cenário VII.....	111
Figura 5-8: Gráfico comparativo - Nível de serviço.....	113
Figura 5-9: Gráfico comparativo - Giro médio mensal dos estoques.....	114
Figura 5-10: Gráfico comparativo - Estoque médio.....	116

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1: Estrutura de custos de cada modal .....	15
Tabela 2-2: Classificação dos modais de transporte.....	17
Tabela 3-1: Capacidade instalada nas refinarias da Petrobras em 2010.....	30
Tabela 3-2: Comprimento do OSBRA - Petrobras.....	37
Tabela 3-3: Produtos e modais de transporte nos terminais - Petrobras.....	41
Tabela 4-1: Classificação dos processos da cadeia logística do OSBRA.....	50
Tabela 4-2: Ciclo de operações dos tanques.....	54
Tabela 4-3: Interface de entrada - Produção na refinaria .....	62
Tabela 4-4: Interface de entrada - Demanda dos mercados.....	62
Tabela 4-5: Interface de entrada - Desvio padrão por produto em cada mercado.....	63
Tabela 4-6: Interface de entrada - Fator de sazonalidade mensal por produto.....	63
Tabela 4-7: Interface de entrada - Fator de sazonalidade diária por produto .....	64
Tabela 4-8: Interface de entrada - Tanques por produto e terminal .....	64
Tabela 4-9: Interface de entrada - Vazões de bombeamento e sangria sem horo .....	65
Tabela 4-10: Interface de entrada - Ciclos e tamanho mínimo e máximo das bateladas	66
Tabela 4-11: Interface de entrada - Horário de funcionamento dos terminais .....	66
Tabela 4-12: Interface de entrada - Configuração do carregamento rodoviário.....	66
Tabela 4-13: Sub-rotinas da lógica de simulação.....	68
Tabela 4-14: Relação $h$ /média por replicação .....	80
Tabela 5-1: Nível de serviço acumulado - Cenário de Validação .....	83
Tabela 5-2: Demandas projetadas para os mercados consumidores.....	84
Tabela 5-3: Volumes projetados para produção na refinaria.....	85
Tabela 5-4: Desvios padrão utilizados.....	85
Tabela 5-5: Sazonalidade diária .....	86
Tabela 5-6: Sazonalidade mensal .....	87
Tabela 5-7: Funcionamento dos terminais .....	88
Tabela 5-8: Configuração dos caminhões em Uberaba .....	89
Tabela 5-9: Resumo dos tanques - Cenário I.....	89
Tabela 5-10: Vazões fora do horário de ponta - Cenário I.....	90
Tabela 5-11: Vazões dentro do horário de ponta - Cenário I .....	90
Tabela 5-12: Tamanho das bateladas e ciclos - Cenário I.....	91
Tabela 5-13: Nível de serviço acumulado - Cenário I.....	91

Tabela 5-14: Giro médio mensal dos estoques - Cenário I.....	92
Tabela 5-15: Estoque médio - Cenário I.....	92
Tabela 5-16: Resumo dos tanques - Cenário II .....	94
Tabela 5-17: Nível de serviço acumulado - Cenário II .....	95
Tabela 5-18: Giro médio mensal dos estoques - Cenário II .....	95
Tabela 5-19: Estoque médio - Cenário II .....	96
Tabela 5-20: Resumo dos tanques - Cenário III.....	97
Tabela 5-21: Vazões fora do horário de ponta - Cenário III .....	97
Tabela 5-22: Vazões dentro do horário de ponta - Cenário III.....	98
Tabela 5-23: Nível de serviço acumulado - Cenário III .....	98
Tabela 5-24: Giro médio mensal dos estoques - Cenário III.....	98
Tabela 5-25: Estoque médio - Cenário III.....	99
Tabela 5-26: Resumo dos tanques - Cenário IV.....	100
Tabela 5-27: Vazões fora do horário de ponta - Cenário IV .....	101
Tabela 5-28: Vazões dentro do horário de ponta - Cenário IV .....	101
Tabela 5-29: Nível de serviço acumulado - Cenário IV .....	102
Tabela 5-30: Giro médio mensal dos estoques - Cenário IV.....	102
Tabela 5-31: Estoque médio - Cenário IV.....	102
Tabela 5-32: Resumo dos tanques - Cenário V .....	104
Tabela 5-33: Vazões fora do horário de ponta - Cenário V.....	104
Tabela 5-34: Vazões dentro do horário de ponta - Cenário V.....	105
Tabela 5-35: Nível de serviço acumulado - Cenário V .....	105
Tabela 5-36: Giro médio mensal dos estoques - Cenário V .....	105
Tabela 5-37: Estoque médio - Cenário V .....	106
Tabela 5-38: Resumo dos tanques - Cenário VI.....	107
Tabela 5-39: Nível de serviço acumulado - Cenário VI.....	107
Tabela 5-40: Giro médio mensal dos estoques - Cenário VI.....	108
Tabela 5-41: Estoque médio - Cenário VI.....	108
Tabela 5-42: Tamanho das bateladas e ciclos - Cenário VII.....	109
Tabela 5-43: Nível de serviço acumulado - Cenário VII.....	110
Tabela 5-44: Giro médio mensal dos estoques - Cenário VII .....	110
Tabela 5-45: Estoque médio - Cenário VII .....	110
Tabela 5-46: Resumo dos cenários .....	111
Tabela 5-47: Níveis de serviço alcançados.....	112

Tabela 5-48: Giro médio mensal dos estoques nos terminais .....	113
Tabela 5-49: Aumento da capacidade de armazenamento nos terminais.....	114

# CAPÍTULO I

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Os combustíveis fósseis são os principais elementos da matriz energética mundial. Segundo a Agência Internacional de Energia (OECD/IEA 2009), com sede em Paris, o petróleo representou cerca de 30% da energia primária fornecida no mundo em 2009. Apesar do crescimento e da maior participação de outras fontes de energia no cenário mundial, o petróleo mantém sua posição de destaque, com perspectivas de crescimento nos próximos anos.

Segundo BARROS (2007) apesar das energias renováveis já demonstrarem capacidade para sustentar a economia mundial, os combustíveis fósseis e a eletricidade constituem hoje a base atual de operação do modelo tecnológico e de manutenção do estilo de vida rural e urbano contemporâneo.

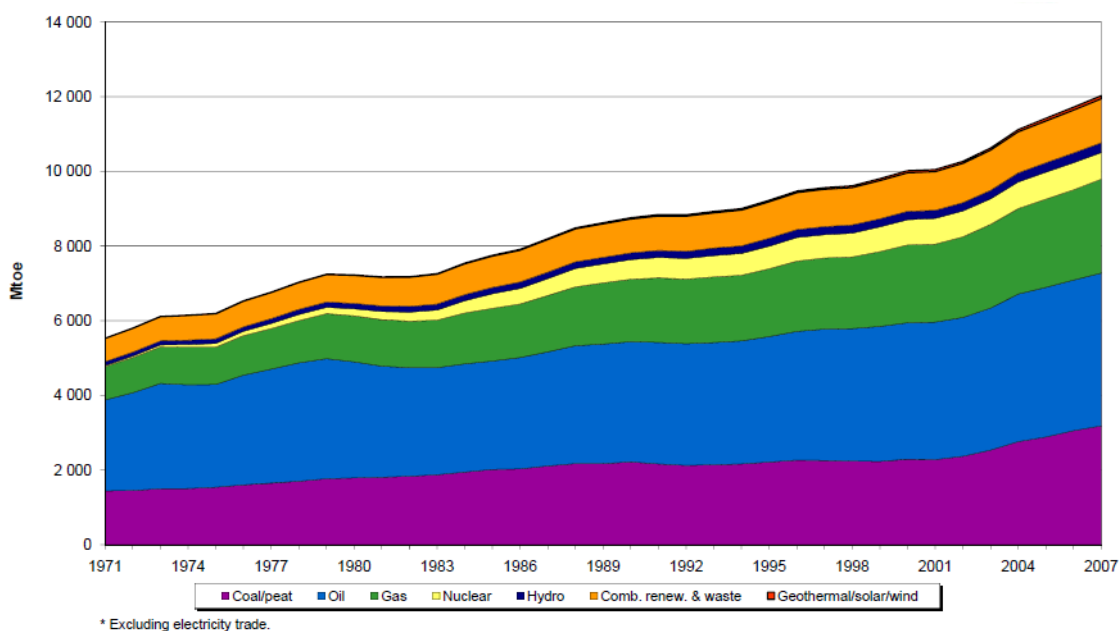


Figura 1-1: Suprimento total de energia no mundo - Fonte OECD/IEA (2009)

No Brasil, o crescimento da demanda de energia pode ser observado através dos dados disponibilizados pela ANP - Agência Nacional do Petróleo (2009a), onde é

possível verificar que o volume de derivados de petróleo comercializado a cada ano cresce desde 2003. Como exemplo, em 2009 houve um crescimento de 2,8% em relação ao volume comercializado em 2008 e nos três primeiros meses de 2010, houve um crescimento de 8% em referência ao mesmo período do ano anterior. Na figura 1-2 é possível observar o crescimento das vendas no Brasil durante o período de 2003 até 2009.

Com relação às exigências ambientais, o Brasil segue a mesma tendência internacional. Novas restrições foram aplicadas para a produção e comercialização de derivados de petróleo de melhor qualidade. Um exemplo é a resolução número 42 da ANP - Agencia Nacional do Petróleo (2009b), que determina a redução do teor máximo de enxofre de 500 mg/Kg para 50 mg/Kg no óleo diesel comercializado nas cidades do Rio de Janeiro, São Paulo e Curitiba.

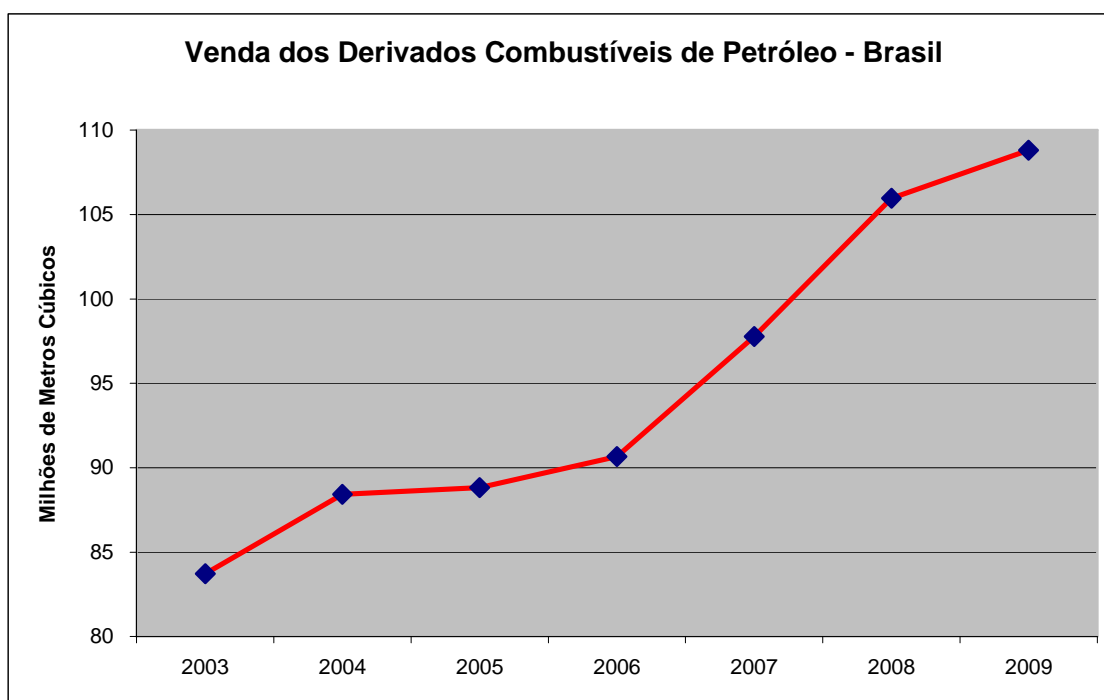


Figura 1-2: Venda dos derivados de petróleo no Brasil – Fonte ANP (2009a)

O aumento da demanda por produtos e o aumento das restrições ambientais irão provocar impactos na cadeia de suprimento de derivados de petróleo no Brasil. Será necessário otimizar a utilização dos recursos existentes e realizar novos investimentos para viabilizar o atendimento das necessidades dos clientes.

A simulação computacional, uma das áreas da Pesquisa Operacional, pode e vem contribuindo para a melhoria do desempenho da cadeia de suprimentos dos derivados de combustível de petróleo. Estudos para dimensionamento de estoques, frotas e terminais são utilizados e auxiliam nas tomadas de decisão, melhorando o desempenho logístico e reduzindo os custos operacionais do sistema.

Considerando que a cadeia de distribuição dos derivados combustíveis de petróleo é bastante complexa, o bom gerenciamento da cadeia é fundamental. Atualmente, produtores, transportadores e distribuidores abastecem cerca de 34.000 pontos de venda do mercado varejista espalhados pelo Brasil. Para que os produtos cheguem a estes pontos são utilizados regularmente os modais de transporte aquaviário, ferroviário, rodoviário e dutoviário.

A figura 1-3 apresenta o mapa das regiões Sul, Sudeste e Centro-oeste do Brasil com a infra-estrutura de produção e movimentação de petróleo e derivados.

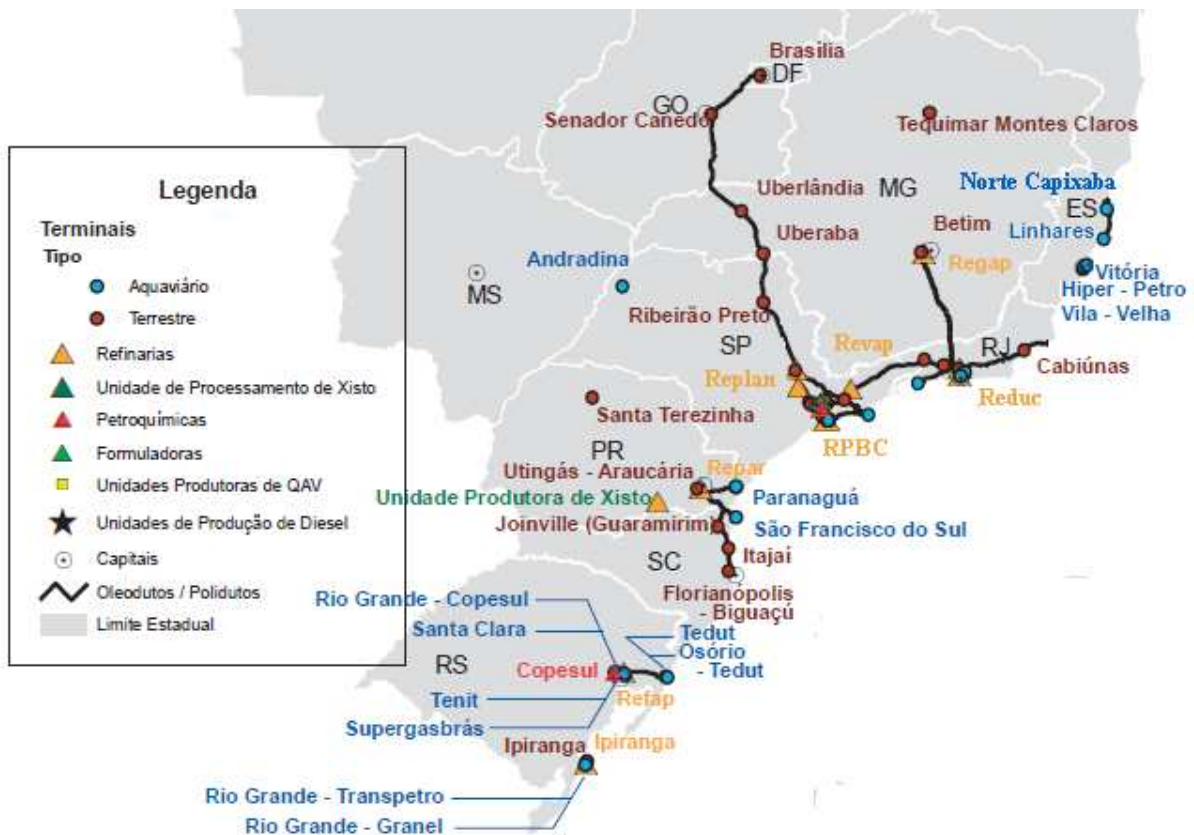


Figura 1-3: Infra-estrutura de produção e movimentação de petróleo e derivados – Fonte ANP (2009a)



## 1.2 MOTIVAÇÃO

A análise da capacidade logística da cadeia de suprimento de derivados combustível de petróleo auxilia no entendimento do seu funcionamento e na identificação de gargalos e oportunidades. Entender a interferência entre modais de transporte é importante para o dimensionamento das interfaces. A avaliação de investimentos em infra-estrutura e de alterações nos procedimentos operacionais pode ajudar no aumento da eficiência e do desempenho dos sistemas.

Estas análises são ainda mais importantes quando consideramos o aumento da demanda e a inclusão de novos produtos na cadeia de suprimento e que o sistema existente deve ser capaz de continuar atendendo a demanda do mercado a um custo reduzido.

A simulação permite que se faça uma análise do sistema em questão sem a necessidade de interferir no sistema real. É possível analisar inúmeros cenários a um custo reduzido, apoiar tomadas de decisão, direcionar investimentos e minimizar desperdícios.

Considerando as motivações apresentadas, o principal objetivo deste trabalho é desenvolver uma metodologia para análise da capacidade logística de uma rede dutodoviária de distribuição de derivados de petróleo.

A metodologia é baseada na técnica de simulação de modelos estocásticos com uma visão sistêmica, considerando a dinâmica, o ambiente operacional e a ligação entre as organizações envolvidas.

Será apresentada a construção de um modelo de simulação para estudos de cenários e sensibilidade. Além disso, são definidos indicadores que permitirão medir o desempenho dos principais elementos do sistema e da rede de suprimento como um todo, em cada cenário avaliado.

A cadeia de suprimento é composta por um sistema multimodal de transporte. O principal elemento do sistema é o poliduto (OSBRA) que liga a Refinaria do Planalto

Paulista (REPLAN), localizada na cidade Paulínia, a cinco terminais de distribuição localizados ao longo do poliduto nas cidades de Ribeirão Preto, Uberaba, Uberlândia, Goiânia e Brasília. Nestes terminais, os produtos são entregues aos clientes finais ou aos distribuidores secundários através dos modais dutoviário ou rodoviário.

O sistema abastece as regiões de abrangência com três tipos de produtos derivados de petróleo, gasolina, diesel e GLP.

### **1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

No capítulo 2 é realizada uma revisão bibliográfica onde são destacados os principais trabalhos e autores avaliados para o desenvolvimento deste trabalho. São abordados temas relevantes que ajudam na compreensão do trabalho. Inicialmente foi apresentada a evolução do pensamento logístico e as principais definições de logística e cadeia de suprimentos, posteriormente foram apresentados os principais aspectos dos modais de transporte e finalizado com uma revisão sobre simulação computacional.

O capítulo 3 descreve a cadeia de suprimento de derivados de petróleo, dando especial atenção ao sistema analisado, compreendido pelo poliduto OSBRA e seus terminais e bases de distribuição. Neste item também é detalhado o problema que este trabalho pretende explorar, descrevendo suas características.

O capítulo 4 descreve a construção dos modelos conceitual e computacional, as simplificações do modelo real e as restrições adotadas. São apresentados detalhes do modelo computacional, com a descrição lógica das rotinas e as principais variáveis.

O capítulo 5 aborda os cenários estudados e seus resultados. São apresentadas as descrições de cada cenário, os dados de entrada do modelo e os resultados encontrados, através de gráficos e indicadores de desempenho. É realizada uma comparação entre cenários, identificando ganhos, gargalos e oportunidades para os casos estudados.

No capítulo 6 são apresentadas avaliações e conclusões sobre a metodologia e sobre modelo de simulação. Finalizando, são apresentadas as sugestões para trabalhos futuros.

## CAPÍTULO II

### 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentadas revisões bibliográficas sobre logística e cadeia de suprimento, enfatizando a evolução do pensamento logístico, o gerenciamento da cadeia de suprimentos e a avaliação da capacidade logística sobre a ótica dos autores referenciados.

Posteriormente são abordados os modais de transporte, suas principais características, vantagens e desvantagens e uma tabela comparativa entre os modais.

Para o tema simulação são apresentadas definições relevantes sobre a metodologia, suas aplicações nas operações logísticas, os tipos de simulação, as etapas de desenvolvimento, além de vantagens e desvantagens identificadas por alguns autores.

#### 2.1 LOGÍSTICA E CADEIA DE SUPRIMENTO

Conforme descrito por ZERBINI (2003) o Gerenciamento da Cadeia de Suprimento (*Supply Chain Management* – SCM em inglês) surgiu como uma evolução do pensamento logístico, mas tem sido interpretado de várias maneiras diferentes pelas empresas e acadêmicos. ZERBINE resume os trabalhos apresentados por FIGUEIREDO e ARKADE (2000), CHING (2001), COYLE *et al.* (1996) e COOPER (1998) descrevendo as cinco principais fases da evolução do pensamento logístico:

**Do campo ao mercado:** essa etapa estende-se do início do século XX até o início dos anos 40, caracterizando-se pela falta de conceituação teórica da logística e pela preocupação prática de escoamento da produção agrícola dos campos para os mercados consumidores;

**Especialização:** essa fase estende-se do início dos anos 40 até o início da década de 60. Nessa fase, surge o termo logística, sob forte influência militar em função da Segunda Guerra Mundial, onde o termo surgiu associado à movimentação de tropas e

suprimentos. A principal preocupação era a identificação dos aspectos que influenciavam a eficiência dos fluxos de materiais, principalmente os relacionados à armazenagem e transporte. É importante destacar que o período imediatamente posterior à guerra foi marcado pelo forte crescimento das economias, que proporcionavam elevadas margens de lucro. Nesse contexto, o enfoque principal era em vendas e produção, não havendo grandes preocupações com custos logísticos e ineficiências na distribuição;

**Integração interna:** iniciando-se na década de 60 e estendendo-se até o início dos anos 70, essa fase caracteriza-se pelo início de uma visão integrada nas questões logísticas. O conceito de custo total da cadeia logística passa a ser difundido e melhor compreendido pelas organizações;

**Foco no cliente:** essa fase, que se estende do início dos anos 70 até meados dos anos 80, caracteriza-se pela busca da eficiência, com foco nas questões relacionadas à produtividade e custos de estoques. A década de 70 foi marcada por forças de mudança que influenciaram de forma definitiva a administração das empresas e a logística, como o aumento da competição mundial, a crise do petróleo, a falta de matérias-primas e o aumento da inflação mundial. Esses fatores resultaram, por exemplo, na diminuição das margens de lucro e aumento dos custos de transporte e estoques. O pensamento empresarial reconheceu na logística a principal forma de reduzir os custos logísticos e otimizar as atividades da empresa. Nessa fase consolidou-se o conceito de sistemas logísticos, ou logística empresarial, baseado na combinação das atividades de administração interna de materiais e de distribuição física dos produtos;

**Supply Chain Management:** nessa fase, que vai do início nos meados dos anos 80 até o momento presente, a Logística passou a ser identificada como um elemento diferenciador entre as empresas, através do qual é possível explorar novas e importantes vantagens competitivas. A ênfase passa a ser a preocupação com as interfaces entre as diferentes funções da empresa, surgindo assim o conceito de Logística Integrada, que busca a integração das atividades desde a origem até o consumidor final. O conceito de Gerenciamento da Cadeia de Suprimento surgiu no início dos anos 80, aparecendo pela primeira vez na literatura em 1982. A expressão foi usada inicialmente para enfatizar uma estratégia de redução de níveis de estoques, tanto nos fluxos internos das empresas

como nos fluxos inter-empresas. Posteriormente, esse conceito foi aprimorado e revisado.

Para FIGUEIREDO *et al.* (2000), o conceito de Gerenciamento da Cadeia de Suprimento (SCM) surgiu como uma evolução natural do conceito de Logística Integrada. Enquanto a Logística Integrada representa uma integração interna de atividades, o SCM representa sua integração externa, incluindo uma série de processos de negócios que interligam os fornecedores aos consumidores finais. A gestão da cadeia em sua totalidade pode proporcionar uma série de maneiras pelas quais é possível aumentar a produtividade e, em consequência, contribuir significativamente para a redução dos custos, assim como identificar formas de agregar valor aos produtos.

FLEURY (2000a) faz uma interessante análise sobre os principais fatores que impactam na evolução da logística. Segundo ele, aspectos de ordem econômica e tecnológica criam novas exigências competitivas e tornam possível o gerenciamento eficiente e eficaz das operações logísticas. Como fatores econômicos, FLEURY destaca os seguintes pontos:

- A globalização, representada pela facilidade de comprar e vender em diversos locais ao redor do mundo;
- O aumento das incertezas econômicas, traduzido através da volatilidade econômica e pelas crises financeiras nacionais e internacionais;
- A proliferação dos produtos, representado através da grande disponibilidade e variabilidade de um mesmo item, os menores ciclos de vida dos produtos, representado pela rápida obsolescência e lançamento contínuo de novos bens de consumo e;
- As maiores exigências dos serviços que pode ser traduzido por consumidores mais exigentes e a maior competitividade do mercado.

Tecnologicamente, FLEURY (2000a) destaca o desenvolvimento dos hardwares, tais como coletores de dados, rádio frequência, etc. e aplicações de softwares, tais como otimizadores de redes, simuladores, roteirizadores, GIS (Sistemas de Informação Geográfica), entre outros.

Outro aspecto interessante analisado por FLEURY (2000a) trata dos critérios para alcançar a excelência logística. Ele afirma que para conseguir reduzir os custos e melhorar o nível de serviço ao cliente ao mesmo tempo, quebrando o paradigma, segundo o qual, melhores níveis de serviço implicam necessariamente maiores custos, é preciso obter sucesso do cliente, integração interna, integração externa, processos baseados no tempo, mensuração abrangente e benchmarking.

FLEURY (2000b) define o SCM – Supply Chain Management, ou gerenciamento da Cadeia de Suprimentos, como mais do que uma simples extensão da ampliação das atividades logísticas para além das fronteiras organizacionais, pois inclui um conjunto de processos de negócios que em muito ultrapassa as atividades diretamente relacionadas com a logística integrada, como por exemplo, marketing, compras e desenvolvimento de fornecedores. Em outras palavras, o SCM representa o esforço de integração dos diversos participantes do canal de distribuição, por meio da administração compartilhada de processos-chave de negócios que interligam diversas unidades organizacionais e membros do canal, desde o consumidor final até o fornecedor inicial de matérias primas. Por canal de distribuição FLEURY (2000b) define como o conjunto de unidades organizacionais, instituições e agentes internos e externas, que executam as funções de compras, vendas, informações, transporte, armazenagem, estoque, programação da produção e financiamento.

BOWERSOX *et al.* (2001) relacionam a logística aos recursos financeiros gastos no desenvolvimento de suas atividades, afirmando que os gastos com logística variam normalmente entre 5 e 35% do valor das vendas de uma empresa, dependendo do tipo de atividade, da área geográfica de operação e da relação peso/valor dos produtos e materiais. “A logística é, em geral, responsável por uma das maiores parcelas do custo final do produto, sendo superada apenas pelos materiais consumidos na produção ou pelo custo dos produtos vendidos no atacado ou no varejo. Naturalmente, a logística, atividade vital para o sucesso dos negócios, tem alto custo”.

Também para BOWERSOX *et al.* (2001), é possível alcançar qualquer nível de serviço logístico desde que a empresa esteja disposta a alocar os recursos necessários para isso, porém, o objetivo central da logística deve ser atingir o nível de serviço desejado pelo menor custo total possível.

GAITHER (2002) define uma cadeia de suprimentos como a maneira pela qual os materiais fluem através de diferentes organizações, iniciando com as matérias primas e encerrando com produtos acabados entregues ao consumidor final.

WANKE (2003) analisa a logística da cadeia de suprimentos sobre a perspectiva do seu gerenciamento. Segundo ele, a definição mais frequentemente encontrada para gerenciamento de cadeias de suprimento é a gestão de fluxos correlatos de informação e produtos que vão do fornecedor ao cliente, tendo como contra partida os fluxos financeiros.

Ainda segundo WANKE (2003), a definição proposta pelo Council of Logistics Management (CLM) a logística é uma parte componente do gerenciamento da cadeia de suprimentos. Em suas palavras, logística é a parte do gerenciamento da cadeia de suprimento responsável pelo planejamento, implementação e controle de modo eficiente e eficaz, do fluxo de produtos (bens e serviços) e informações relacionadas do ponto de origem até o ponto de consumo, com vistas ao atendimento das necessidades dos clientes.

Em sua definição (WANKE, 2003), o gerenciamento da cadeia de suprimento seria uma tarefa substancialmente mais complexa que a gerência logística do fluxo de produtos, serviços e informações relacionados do ponto de origem para o ponto de consumo.

Para BALLOU (2004) a cadeia de suprimentos abrange todas as atividades relacionadas com o fluxo e transformação de mercadorias desde o estágio da matéria-prima (extração) até o usuário final, bem como os respectivos fluxos de informação. Para ele, a logística da cadeia de suprimentos é um conjunto de atividades funcionais (transporte, controle de estoques, etc.) que se repetem inúmeras vezes ao longo do canal pelo qual matérias-primas vão sendo convertidas em produtos acabados, aos quais se



agrega valor ao consumidor. Uma vez que as fontes de matérias-primas, fábricas e pontos de venda em geral não tem a mesma localização e o canal representa uma seqüência de etapas da produção, as atividades logísticas podem ser repetidas várias vezes até um produto chegar ao mercado.

Para SLACK *et al.* (2007), a gestão da cadeia de suprimentos é a gestão da interconexão das empresas que se relacionam por meio de ligações a montante e a jusante entre os diferentes processos, que produzem valor na forma de produtos e serviços para o consumidor final. Ainda segundo estes autores, a gestão da cadeia de suprimentos é uma abordagem holística de gestão através das fronteiras das empresas. Os autores também descrevem sobre o crescente reconhecimento sobre os benefícios substanciais a serem ganhos ao administrar-se toda a cadeia de operações de modo que satisfaçam o consumidor final. Estes benefícios centram-se em dois objetivos-chaves da gestão da cadeia de suprimentos, satisfazer efetivamente os consumidores e fazer isso de forma eficiente.

Pode-se resumir a evolução da logística conforme a descrição de FIGUEIREDO e ARKADER (2000), “em linhas gerais, o campo da logística evolui de um tratamento mais restrito, voltado para a distribuição física de materiais e bens, para um escopo mais abrangente, em que considera a cadeia de suprimentos em sua totalidade e as atividades de compras, administração de materiais e distribuição”.

Especificamente sobre a cadeia de suprimento de petróleo, RODRIGUES *et al.* (2003), diz que, para o petróleo, a cadeia logística é de suma importância, tendo em vista a centralização da exploração, o transporte às plantas de refino e também a distribuição dos derivados ao mercado. Além disso, a logística interna dos agentes também influencia diretamente o rendimento da cadeia.

Com relação à avaliação do desempenho logístico de uma empresa dentro de uma cadeia de suprimentos SOUZA (2008) afirma que deve-se determinar meios para medir a maneira como essa empresa realiza o fluxo de produtos e informações desde os fornecedores primários até o consumidor final.

FIGUEIREDO (2005) avalia a logística através do aspecto da capacidade. Inicialmente ele apresenta os principais atributos dos serviços logísticos consistentemente apontados como os mais valorizados pelos clientes:

- Disponibilidade: a habilidade de atender aos pedidos dos clientes em tempo determinado;
- Entregas no prazo: a habilidade de fornecer os produtos no prazo acordado, com pequena variabilidade;
- Comunicações: a habilidade de dar informações rápidas e relevantes a qualquer dúvida do cliente;
- Serviço pós-venda: a habilidade de resolver os problemas que o cliente possa vir a ter com o produto adquirido.

FIGUEIREDO (2005) completa a análise afirmando que para atender a esses atributos, o prestador de serviço precisa ter capacidade. A capacidade é o potencial produtivo do processo. O número de entregas que podem ser feitas em um dia, o número de pedidos que podem ser processados em uma hora ou o número de atendimentos que um técnico pode fazer em uma semana são exemplos de medidas da capacidade. A capacidade fica determinada pelos recursos de que se o sistema dispõe para desempenhar suas atividades. Espaço para armazenagem, veículos de entrega, investimento em estoque, técnicos para dar assistência aos clientes etc. são exemplos de recursos que determinam a capacidade de prestação do serviço logístico.

## **2.2 TRANSPORTE**

O Transporte é uma das principais funções logísticas. Além de representar a maior parcela de custos logísticos na maioria das organizações, tem papel fundamental no desempenho de diversas dimensões do serviço ao cliente. Do ponto de vista de custos, representa, em média, cerca de 60% das despesas logísticas, o que, em alguns

casos, pode significar duas ou três vezes o lucro de uma companhia, como é o caso, por exemplo, do setor de distribuição de combustíveis. (NAZÁRIO, 2000a).

Para FLEURY (2003) o transporte é o principal componente dos sistemas logísticos das empresas. Sua importância pode ser medida através de pelo menos três indicadores financeiros: custo, faturamento e lucro. O transporte representa, em média, 64% dos custos logísticos, 4,3% do faturamento e, em alguns casos, mais do que o dobro do lucro. Além disso, o Transporte tem um papel preponderante na qualidade dos serviços logísticos, pois impacta diretamente o tempo de entrega, a confiabilidade e a segurança dos produtos.

A seleção do modal de transporte para movimentação de insumos ou produtos acabados dentro de uma cadeia de suprimento deve considerar o menor custo total sistema, segundo BOWERSOX *et al.* (2001), o transporte mais barato nem sempre resulta no custo total mais baixo de movimentação física, os serviços de transporte mais rápidos cobram taxas mais altas, porém quanto mais rápido o transporte, mais curto será o intervalo de tempo durante o qual o estoque ficará em trânsito e indisponível. Portanto, o mais indicado no processo de seleção do modal de transporte é o equilíbrio entre velocidade e custo do serviço.

Segundo BALLOU (2004), preço, tempo médio de viagem, variabilidade do tempo de trânsito e perdas e danos são os fatores mais importantes e determinam o modal que deve ser utilizado.

Para WANKE (2003), são dois os critérios adotados por um embarcador na escolha do modal de transporte: preço / custo e desempenho. Normalmente, a dimensão desempenho é medida através do tempo médio de entrega, da sua variabilidade absoluta e percentual e do nível médio de perdas e danos que ocorrem no transporte. As empresas estão dispostas a incorrer num nível de preço ou custo de frete compatível com dado desempenho. Além desses elementos, devem ser consideradas as características do produto e da demanda na escolha dos modais.

Conforme descrito por NAZÁRIO (2000a), os cinco modais de transporte básico são o ferroviário, o rodoviário, o aquaviário, o dutoviário e o aéreo. A importância

relativa de cada modal pode ser medida em termos da quilometragem do sistema, volume do tráfego, receita e natureza da composição do tráfego. A tabela abaixo, apresentada pelo autor, resume a estrutura de custos fixos e variáveis de cada modal.

<b>Modal</b>	<b>Custos Fixos</b>	<b>Custos Variáveis</b>
<b>Ferroviário</b>	Alto – Equipamentos, terminais, vias férreas, etc.	Baixo
<b>Rodoviário</b>	Baixo – Rodovias estabelecidas e construídas com fundos públicos	Médio – Combustível, Manutenção, etc.
<b>Aquaviário</b>	Médio – Navios e equipamentos	Baixo – Capacidade para transportar grande quantidade de tonelagem.
<b>Dutoviário</b>	Alto – Direitos de acesso, construção, requisitos para controle das estações e capacidade de bombeamento	Baixo – Nenhum custo de mão de obra de grande importância
<b>Aeroviário</b>	Alto – Aeronaves e manuseio de sistemas de carga	Alto – Combustível, mão de obra, manutenção, etc.

Tabela 2-1: Estrutura de custos de cada modal

Fazendo uma análise dos modais de transporte existente, inicialmente verificamos que o modal ferroviário caracteriza-se pela sua capacidade de transportar grandes volumes, com elevada eficiência energética, principalmente em casos de deslocamentos de médias e grandes distâncias. O mesmo apresenta maior segurança, com menores índices de acidentes e menor incidência de furtos e roubos (DUMIT, 2005).

Apesar das vantagens do modal ferroviário, restrições de infra-estrutura, como por exemplo, falta de vagões tanques, falta de tração e capacidade da linha, e questões comerciais na malha brasileira, como por exemplo, prioridades para outros produtos, limitam a sua utilização para transporte de derivados combustíveis de petróleo. Segundo dados da ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres (2009), o volume de derivados combustíveis de petróleo transportado em 2009 através do modal ferroviário corresponde a apenas 2,8% da carga total movimentada nas ferrovias brasileiras.

O transporte aéreo, segundo BOWERSOX *et al.* (2001), possui a vantagem da rapidez de entrega das cargas. Uma carga que percorre longas distâncias por via aérea,

requer apenas algumas horas de vôo, em contraste com outros tipos de transporte, que levam dias para chegar ao seu destino. O modal de transporte aéreo ainda permanece mais como uma possível oportunidade do que uma realidade. Como desvantagem o autor descreve as restrições de tamanho e peso das cargas e a disponibilidade de aeronaves.

Segundo BALLOU (2004) o transporte rodoviário é sete vezes mais caro que o modal ferroviário e o modal ferroviário quatro vezes mais caro que a movimentação por via aquática ou dutos. No Brasil, estes custos são ampliados quando consideramos a baixa conservação das estradas, os grandes tempos de viagem e o grande número de intervenções para manutenção. A sua principal vantagem é o serviço porta-a-porta, que lhe da velocidade e elimina, na maioria das vezes, a necessidade de cargas e descargas intermediárias. Apesar dos problemas existentes, o modal rodoviário responde pela maioria das movimentações da cadeia de derivados combustíveis de petróleo, ou através do serviço único ou através da combinação com outros modais.

Para BOWERSOX *et al.* (2001), a natureza de uma dutovia é singular, se comparada aos outros tipos de transporte. Os dutos podem operar 24 horas por dia, sete dias por semana, com restrições de funcionamento apenas durante mudança do produto transportado ou manutenção. Ao contrário dos outros modais, não existe nenhum contêiner ou veículo vazio de retorno. Os dutos apresentam maior custo físico e menor custo variável entre todos os tipos de transporte. O alto custo fixo resulta do direito de acesso, da construção, da necessidade de controle das estações e da capacidade de bombeamento. Como os dutos não necessitam de mão de obra intensiva, o custo operacional variável é baixo, após a sua construção. Uma desvantagem óbvia é que os dutos não são flexíveis e são limitados quanto aos produtos que podem transportar (transportam apenas produtos nas formas de gás, líquida ou de mistura semifluida).

Segundo a ANP (2009a), em 2008, a malha dutoviária nacional era composta por 547 dutos somando 17 mil Km de extensão. Destes, 388 dutos, com extensão de 5,9 mil Km, são destinados exclusivamente para movimentação de derivados.

BOWERSOX *et al.* (2001) afirma que a principal vantagem do transporte aquaviário é a capacidade de movimentar cargas muito grandes. Ainda segundo este

autor, o transporte aquaviário está situado entre as transportadoras rodoviárias e as ferroviárias em termos de custo fixo. Embora as transportadoras marítimas e fluviais devam desenvolver e manter seus próprios terminais, o direito de acesso é mantido pelo governo e resulta em custos fixos moderados quando comparados com os custos da ferrovia e da rodovia.

No Brasil, segundo a ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviário (2009), favorecido pelo extenso litoral e a navegabilidade dos rios brasileiros, o transporte de petróleo e seus derivados combustíveis através do modal aquaviário movimentou cerca de 174 milhões de toneladas em operações de carga e descarga nos terminais brasileiros. A infra-estrutura existente conta com sessenta e dois terminais e uma capacidade de armazenamento de 6 milhões de m<sup>3</sup>. Esses números representam 69,5% de toda capacidade de armazenamento nacional e demonstram a importância deste modal de transporte dentro da cadeia logística (ANP, 2009a).

Segue abaixo a tabela com a classificação das características operacionais relativas por modal de transporte proposta por BOWERSOX *et al.* (2001). A menor pontuação indica melhor classificação.

<b>Características Operacionais</b>	<b>Modais de Transporte</b>				
	<b>Ferrovário</b>	<b>Rodoviário</b>	<b>Aquaviário</b>	<b>Dutoviário</b>	<b>Aeroviário</b>
<b>Velocidade</b>	3	2	4	5	1
<b>Disponibilidade</b>	2	1	4	5	3
<b>Confiabilidade</b>	3	2	4	1	5
<b>Capacidade</b>	2	3	1	5	4
<b>Frequência</b>	4	2	5	1	3
<b>Total</b>	14	10	18	17	16

Tabela 2-2: Classificação dos modais de transporte

Segundo NAZÁRIO (2000b), a integração entre modais pode ocorrer com vários tipos de transporte (aéreo-rodoviário, ferroviário-rodoviário, aquaviário-ferroviário, aquaviário-rodoviário) ou ainda entre mais de dois modais. Nessas operações, os terminais são uma das principais barreiras para o desenvolvimento do intermodalismo no Brasil e possuem papel fundamental na viabilidade econômica da alternativa.

## 2.3 SIMULAÇÃO

Conforme descrito por SALIBY (1989), a simulação probabilística, teve sua origem como extensão do Método de Monte Carlo. Este método foi proposto por Von Neumann e Ulam para solução de problemas matemáticos cujo tratamento analítico não se mostrava viável. Isto se deu durante a Segunda Guerra Mundial, ao longo das pesquisas no laboratório de Los Alamos, que resultaram na construção da primeira bomba atômica. Ao que tudo indica, por razões de sigilo e também pelo tipo de abordagem utilizada o código “Monte Carlo” foi adotado.

Ainda conforme SALIBY (1989), no início da década de 50, com o advento dos primeiros computadores, a idéia do método de Monte Carlo foi estendida para a solução de problemas probabilísticos de caráter mais geral, como é o caso das filas de espera. Viu-se, com isso que poderíamos simular um processo e estimar seus principais parâmetros de operação; assim nascia a simulação por Monte Carlo.

Desde então, a simulação vem sendo estudada e aperfeiçoada, sendo beneficiada pelo desenvolvimento tecnológico dos computadores, cada vez mais rápidos e poderosos. Apresentamos a seguir algumas definições apresentadas por importantes autores e estudiosos sobre o tema.

A simulação é a imitação da operação de processos reais ou sistemas num dado período de tempo. Essa técnica envolve a geração de uma história artificial de um sistema, e a observação desta para fazer inferências relativas às características de operação do sistema real (BANKS *et al.*, 1995).

Ainda para BANKS *et al.* (1995), um modelo é a representação abstrata de um sistema, usualmente contendo lógica e/ou relações matemáticas que descrevem o sistema em termos de estado, entidades e seus atributos, conjuntos, eventos, atividades e seus tempos.

HILLIER *et al.* (2001), define a simulação como uma técnica excepcionalmente versátil. Ela pode ser utilizada (com vários níveis de dificuldade) para investigar virtualmente qualquer tipo de sistema estocástico. Esta versatilidade tem feito da

simulação a técnica de Pesquisa Operacional mais utilizada em estudos com sistemas, e a sua popularidade continua crescendo.

A simulação computacional, segundo PIDD (1993), envolve experimentação de um modelo computacional sobre algum sistema. O modelo é utilizado como um veículo de experimentos através de tentativas e erros para demonstrar os efeitos de políticas variadas.

Abaixo a representação gráfica apresentada por PIDD (1993) demonstra a relação das entradas, saídas e realimentações de um modelo de simulação computacional.

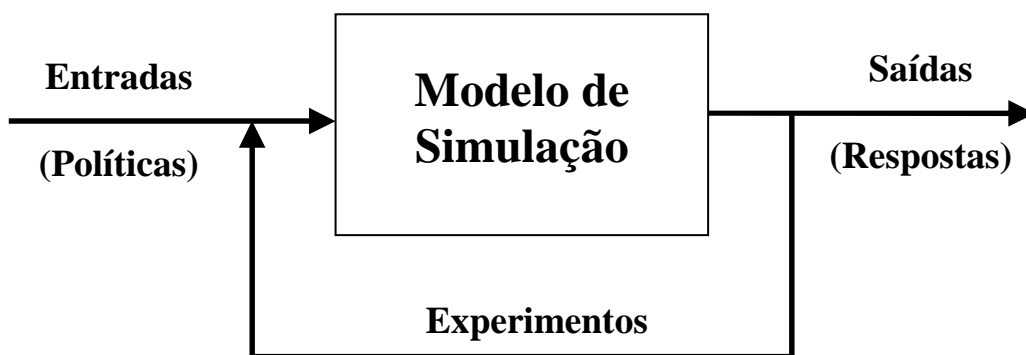


Figura 2-1: Entradas, saídas e realimentação de um modelo de simulação.

Para PIDD (1996) a definição de que um modelo é uma representação da realidade ignora o motivo pelo qual o modelo está sendo construído. Para ele, o aspecto crucial é que para um modelo sempre existe simplificações e cada simplificação deve ser feita com a visão da intenção de uso do modelo, ou seja, ele é uma representação da realidade para um propósito definido, ou ainda, os modelos são construídos com alguma aplicação em mente.

FREITAS FILHO (2001) afirma que a idéia por trás do emprego da modelagem e simulação de um sistema implica na realização de um esforço computacional, no qual um programa executa uma série de instruções. Estas transmitem ao usuário a nítida sensação de que o modelo sendo executado possui um comportamento semelhante ao do sistema real do qual deriva. O controle da execução deste modelo permite ao analista a



realização de experimentos. Estes, por sua vez, determinam a possibilidade de estimar e concluir a respeito do comportamento do modelo e, por inferência, responder as questões formuladas na descrição do problema sobre a conduta e desempenho do sistema sob estudo.

CHAO (2001), diz que, simulação envolve a modelagem de um processo ou sistema de tal modo que o modelo imita a resposta do sistema real para eventos que acontecem com o passar do tempo. Assim, ao estudar o comportamento do modelo, pode-se adquirir percepções sobre o comportamento do sistema real.

Alguns estudos utilizando os modelos de simulação para análise da cadeia de suprimentos, como por exemplo, SOUZA (2008), e CHAO (2001), contribuem para validar a necessidade de novos estudos e o desenvolvimento de novas metodologias.

Em referência a aplicação da simulação nos estudos logísticos, KULICK *et al.* (2000) afirma que no projeto ou na operação de instalações intermodais, a capacidade de circulação existente impacta no custo e no nível de serviço. Modelos de simulação são valiosas ferramentas para projetistas e operadores na análise de sistemas intermodais e a sua capacidade de responder a demanda de volumes projetados. Simulação é uma ferramenta que possui larga aplicabilidade para estes problemas, auxiliando na aprovação de verbas para desenvolvimento de projetos, aprimorando conceitos durante as fases iniciais dos projetos e durante a operação de instalações existentes.

SALIBY (2003) destaca as principais aplicações da simulação em operações logísticas:

- Dimensionamento de operações de carga e descarga: determinação do número de docas, número e tipo de empilhadeiras, área de preparação de carga etc.;
- Dimensionamento de estoque: determinação de estoque de segurança e estoque básico em sistemas multi-elos (centros de distribuição centrais e regionais), considerando incertezas nos suprimentos de matérias primas e na demanda pelos produtos e sua consequência sobre o nível de serviço prestado: Onde os estoques

devem estar localizados? Qual o custo de atender a nossos clientes com 95% de disponibilidade de produto? E 98%?;

- Estudos de movimentação de material: avaliação da relação custo > benefício da implantação de novos equipamentos e novas tecnologias, como esteiras, transelevadores, sistemas automáticos de *picking* etc.;
- Sistema de Transporte: determinação da frota ideal em termos de número e tamanho de veículos, considerando o perfil de pedidos a serem entregues, a duração das viagens e o tempo de carregamento e descarregamento e o resultado sobre a utilização dos veículos, tempo de atendimento etc.;
- Fluxo de produção: dimensionamento de equipamentos e de estações de trabalho. Avaliação de diferentes configurações de recursos: células de produção, linhas especializadas etc.;
- Serviços de atendimento em geral: como números de pontos de vendas (PDV's) em supermercados, caixas de atendimentos em bancos etc..

Para SCHUNK *et al.* (2000) simulação é uma das melhores ferramentas para análise da cadeia de suprimentos por considerar a variabilidade dos dados. As empresas podem utilizar a simulação para avaliar os custos e a efetividade de uma inovação de sistema, como por exemplo, JIT (Just in Time), em seus próprios ambiente sem a necessidade da implementação física.

### 2.3.1 Tipos de Simulação

MACHADO (2006), baseado em KELTON e SADOWSKI (2002), apresenta uma classificação para modelos de simulação seguindo três dimensões:

- **Estática ou dinâmica** - denominam-se como modelos estáticos os que visam representar o estado de um sistema em um instante ou que em suas formulações não se leva em conta a variável tempo, enquanto os modelos dinâmicos são

formulados para representarem as alterações de estado do sistema ao longo da contagem do tempo de simulação.

- **Discreta ou contínua** - são modelos discretos aqueles em que o avanço da contagem de tempo na simulação se dá na forma de incrementos cujos valores podem ser definidos em função da ocorrência dos eventos ou pela determinação de um valor fixo, nesses casos só é possível determinar os valores das variáveis de estado do sistema nos instantes de atualização da contagem de tempo; enquanto para os modelos contínuos o avanço da contagem de tempo na simulação dá-se de forma contínua, o que possibilita determinar os valores das variáveis de estado a qualquer instante.
- **Determinística ou estocástica** - são modelos determinísticos os que em suas formulações não fazem uso de variáveis aleatórias, enquanto os estocásticos podem empregar uma ou mais.

O modelo utilizado nesta dissertação, evento discreto, é baseado em conceitos de estado, eventos, atividades e processos. Segundo CARLSON II (2005), tempo é um componente crítico. Neste tipo de modelo, o estado do modelo muda somente em função de tempos discretos. Quando um evento ocorre, ele pode disparar novos eventos, atividades ou processos. Conceitualmente, o estado de um modelo é um vetor, que representa uma lista de variáveis capaz de definir o estado do sistema a qualquer momento da simulação. Na prática, o estado de um modelo é definido implicitamente pelo estado de todas as entidades utilizadas no software de simulação.

Para BANKS (1999), um modelo baseado em eventos discretos tenta representar os componentes do sistema e suas interações, a tal ponto que os objetivos do estudo sejam alcançados. A maioria dos modelos matemáticos e estatísticos representa as entradas e saídas explicitamente, mas a representação interna do modelo é feita através de relações matemáticas ou estatísticas. Os modelos de simulação baseados em eventos discretos incluem uma representação detalhada da situação interna atual.

### 2.3.2 Etapas de Desenvolvimento de Estudos de Simulação

Para desenvolvimento de estudos de simulação, vários autores como, por exemplo, BANKS (1995), LAW e KELTON (1991), RODRIGUES *et al.* (2003) e CHAN (2006) fazem referência as seguintes etapas:

- **Formulação do problema** - Esta etapa consiste na formulação do problema, ou seja, definir o que se deseja que seja estudado. Muitas vezes é comum iniciar um projeto sem uma formulação adequada ou completa do problema; em outras vezes esta formulação é complementada ou alterada ao longo do desenvolvimento do projeto.
- **Determinar os objetivos do projeto e o planejamento global** - A determinação dos objetivos do projeto consiste em se definir quais questões devem ser respondidas pelo modelo. Nesta etapa também deve ser definido se a simulação é adequada para responder a estas questões. Após esta fase inicial, deve-se definir a equipe de projeto, os custos envolvidos e efetuar um planejamento, definindo-se etapas e metas a serem atingidas em cada uma delas.
- **Modelagem conceitual** - Esta etapa é onde será feita a construção do modelo, devendo-se extrair a essência do problema em estudo. Recomenda-se iniciar com um modelo simples e aumentar a sua complexidade gradativamente.
- **Coleta de dados** - A etapa de coleta de dados é uma das etapas que demandam mais tempo e por isto deve ser iniciada o mais breve possível. Em geral o objetivo do estudo define o tipo de dados a ser coletado.
- **Tradução do modelo** - A tradução do modelo pode seguir caminhos distintos: programar numa linguagem de programação tradicional tal como Fortran, C, C++ ou utilizar um simulador comercial. Convém fazer uma análise das facilidades de cada ferramenta e verificar a mais adequada.
- **Verificação do modelo** - Esta etapa consiste em verificar se não há erros de programação no modelo. Em geral esta etapa é feita junto com a etapa de tradução.

- Validação do modelo - Esta etapa consiste em se verificar se o modelo representa a realidade em estudo.
- Projeto de experimentos - Esta etapa consiste em se definir as alternativas que serão analisadas com o modelo traduzido para a linguagem escolhida.
- Corridas e análises - Esta etapa consiste em se definir as corridas a serem realizadas para avaliar performance do sistema em estudo.
- Documentação - Esta etapa consiste em se efetuar a documentação do programa com o objetivo de facilitar a manutenção.
- Implementação - Esta etapa é a implementação do modelo para ser utilizado pelo usuário final.

### **2.3.3 Vantagens e Desvantagens da Simulação**

Alguns autores como PEGDEN *et al.* (1991) e SHANNON (1998), entre outros, relacionam os principais benefícios da simulação:

- Novas políticas, procedimentos operacionais, estrutura organizacional, fluxo de informações podem ser explorados sem interromper a continuidade das operações;
- Projetos de novos equipamentos, layouts físicos, softwares e sistemas de transporte podem ser testados antes da aquisição ou implementação dos recursos;
- Hipóteses de como ou porque certos fenômenos ocorrem podem ser testadas quanto a sua probabilidade;
- O tempo pode ser controlado: ele pode ser comprimido ou expandido. Permitindo acelerar ou desacelerar os fenômenos estudados;

- Ganho da percepção sobre quais variáveis são mais importantes para a performance do sistema e como estas variáveis interagem;
- Gargalos de materiais, informações de fluxos e de produtos podem ser identificados;
- Um estudo de simulação pode levar ao entendimento real do funcionamento de um sistema, em oposição ao modo como as pessoas acreditam que o sistema funciona.
- Novas situações, sobre as quais temos conhecimento e experiência limitada, podem ser manipuladas para testar eventos teóricos futuros.

Como desvantagens, temos:

- A construção do modelo requer treinamento especializado, a qualidade das análises depende da qualidade do modelo e das habilidades do modelador. A construção do modelo é uma arte, e as habilidades dos modeladores variam amplamente;
- Os resultados das simulações são, algumas vezes, de difícil interpretação. Como os modelos tentam capturar a aleatoriedade do sistema real, é difícil determinar quando uma observação feita em uma corrida tem relação significativa com o sistema ou tem relação com a aleatoriedade construída no modelo;
- Uma análise utilizando simulações consome tempo e recursos.

SALIBY (1989) relaciona vantagens complementares que justificam a larga utilização da simulação:

- Modelos mais realistas – A maior liberdade de que dispomos na construção de um modelo de simulação não nos obriga a enquadrar um problema em determinado molde para que possamos obter uma solução como ocorre, por exemplo, no caso da programação linear. Assim em lugar de soluções exatas

para “problemas aproximados” teremos agora soluções aproximadas para “problemas mais reais”;

- Facilidade de comunicação – Outro bom motivo para sua maior utilização é a facilidade de comunicação proporcionada por um modelo de simulação, em geral muito mais fácil de se compreender do que um conjunto de complicadas equações matemáticas. Uma das principais vantagens da simulação visual consiste na melhor comunicação com os demais elementos interessados ou que venham a ser afetados pelas decisões tomadas. Com isso, aumentamos a probabilidade de aceitação do estudo e de que sua implementação seja bem sucedida;
- Soluções “rápidas, porém pobres” – A simulação permite obter as chamadas soluções “rápidas, porém pobres”, fazendo com que rapidamente, tenhamos uma noção da ordem de grandeza dos valores em jogo. No conturbado mundo empresarial, onde as regras mudam da noite para o dia, esta talvez seja uma das principais vantagens que a simulação tenha a oferecer;

Como dificuldade apresentada por SALIBY (1989) vale destacar a necessidade de validação para os modelos de simulação:

“As soluções obtidas num estudo de simulação, assim como através de qualquer outra técnica de pesquisa operacional, referem-se na verdade ao modelo utilizado. Sua relação com o problema real é indireta, sendo o modelo o seu elo de ligação. Assim, para que tais soluções sejam de fato úteis, elas deve ser também válidas para o mundo real. No caso da simulação, isto será feito em dois níveis: na verificação do modelo computadorizado e na validação do modelo conceitual.

Quanto ao modelo computadorizado, nossa preocupação é a de que o programa esteja livre de erros, ou seja, faça o que dele se espera. A programação estruturada e a decomposição apropriada de um programa em módulos são práticas que contribuem para atingir este objetivo. O teste de um programa de simulação, assim como de qualquer outro programa, é uma etapa geralmente trabalhosa, mas que não deve nunca ser negligenciada.

Já a validação do modelo conceitual refere-se à correspondência que deve existir entre o modelo e a realidade. Em geral, é muito mais fácil encontrar erros num programa de computador, do que *conferir* um modelo com a realidade. Não se trata, naturalmente, de um problema específico da simulação, mas comum a todas as técnicas de pesquisa operacional.”



## CAPÍTULO III

### 3 A CADEIA DE SUPRIMENTO DO OSBRA

#### 3.1 A PETROBRAS

Criada em 3 de outubro de 1953, através da lei nº 2004, pelo então presidente da república Getúlio Vargas, a Petrobras nasceu com a missão de executar atividades de exploração, produção e refino para a união. Ainda segundo a lei, estas atividades se tornaram monopólio da união.

Em 1954 sua criação foi consolidada com a transferência das refinarias Mataripe (atual RELAN), na Baía, e Cubatão (RPBC) em São Paulo para a Petrobras pelo então Conselho Nacional do Petróleo. Na década seguinte a Petrobras aumentou a sua capacidade de processamento e duas novas refinarias foram inauguradas, a primeira no estado do Rio de Janeiro em 1961, refinaria Duque de Caxias (REDUC) e a segunda em Minas Gerais, em 1968, Refinaria Gabriel Passos (REGAP).

Na década de 70, a descoberta dos campos *offshore* na Bacia de Campos, litoral da região sudeste, representou um salto para a exploração e a produção de petróleo para a Petrobras. Lá, foram descobertos os campos de Garoupa, Enchova e Namorado, iniciando uma fase promissora para a produção de petróleo em águas profundas no Brasil.

Apesar das descobertas na área de exploração e produção (E&P), neste período os maiores investimentos aconteceram na área de abastecimento. Foram inauguradas a refinaria de Paulínia (REPLAN) e a refinaria Presidente Getúlio Vargas no Paraná (REPAR), além das incorporações da refinaria de Capuava (RECAP) e da refinaria de Manaus (REMAN).

Quanto a sua estratégia, é possível verificar a clara intenção da Petrobras em posicionar suas refinarias ao longo do litoral e em regiões próximas aos grandes centros consumidores e com isso minimizar os custos de transporte do petróleo importado que chegasse através dos terminais aquaviários existentes no litoral.

Nas décadas de 80 e 90, a Petrobras aprimorou suas técnicas de E&P, foram descobertos campos maiores em águas mais profundas, como por exemplo, o campo gigante de Albacora a dois mil metros de profundidade em 1985. Na área do abastecimento foi inaugurada a refinaria Henrique Lage (REVAP) na cidade de São José dos Campos, São Paulo, em 1980.

Em 1997, a Lei nº 9478 acabou com o monopólio do petróleo no Brasil. A partir deste marco a Petrobras foi obrigada a aumentar a sua competitividade, tornar seus processos mais eficientes e investir na sua cadeia logística para reduzir seus custos.

Como consequência do fim do monopólio, em 2001 foi constituída a refinaria Alberto Pasqualini (REFAP S/A) em Canoas, Rio Grande do Sul, através da parceria entre a Petrobras e a empresa REPSOL –YPF. Nesta mesma década foram realizados vários investimentos para aumentar as reservas de petróleo da empresa, aumentar a capacidade de refino do parque instalado e adequar o processo de refino as características do petróleo extraído no território nacional, com baixo grau API (densidade relativa), diferente do importado com alto grau API. Os resultados mais expressivos foram as descobertas das reservas de petróleo abaixo da camada de sal, a profundidades que podem chegar até sete mil metros, na Bacia de Santos. Tupi é um dos principais campos descobertos com volumes recuperáveis estimados de cinco a oito bilhões de barris de petróleo equivalente, ou seja, aproximadamente cinquenta por cento das reservas atuais do país.

A logística continuará sendo um desafio para a empresa na próxima década. O maior desafio será produzir e escoar petróleo nos campos do pré-sal, numa área de aproximadamente cento e sessenta mil quilômetros quadrados a distâncias próximas a trezentos e vinte quilômetros do litoral. Além disso, demandas crescentes e novos requisitos ambientais e de qualidade mudará a quantidade e a variedade de produtos produzidos e distribuídos. As instalações deverão se adequar para atender as novas exigências do mercado consumidor e o gerenciamento da cadeia de suprimentos deverá ser capaz de atender ao plano de negócios previsto pela empresa.

<b>Refinaria</b>	<b>Local</b>	<b>Capacidade Atual</b>
RLAM	Mataripe – Baía	323 mil barris / dia
REGAP	Betim – Minas Gerais	151 mil barris / dia
REDUC	Duque de Caxias – Rio de Janeiro	242 mil barris / dia
REVAP	S. J. dos Campos – São Paulo	251 mil barris / dia
RECAP	Mauá – São Paulo	53 mil barris / dia
RPBC	Cubatão – São Paulo	170 mil barris / dia
REPLAN	Paulínia – São Paulo	365 mil barris / dia
REPAR	Araucária - Paraná	189 mil barris / dia
REFAP	Canoas – Rio Grande do Sul	189 mil barris / dia
REMAN	Manaus - Amazonas	46 mil barris / dia
<b>TOTAL</b>		1979 mil barris / dia

Tabela 3-1: Capacidade instalada nas refinarias da Petrobras em 2010

### 3.2 A CADEIA DE DISTRIBUIÇÃO DE DERIVADOS DE PETRÓLEO

Na área de *Downstream*, a cadeia de distribuição de derivados combustíveis de petróleo é representada por refinarias de petróleo, usinas de produção de bicompostíveis, terminais de distribuição, bases de carregamento, postos de serviço e consumidores finais.

A movimentação dos produtos na cadeia é realizada através dos modais dutoviário, aquaviário, rodoviário e/ou ferroviário. A definição do modal utilizado em cada etapa visa minimizar o custo do transporte considerando fatores como a distância entre os pontos, os volumes movimentados, a pré-existência de recursos instalados, políticas de desenvolvimento de determinadas regiões, entre outros.

O modelo conceitual da matriz de transportes de transferência, abaixo, apresentado por FIGUEIREDO (2005) indica os modais mais adequados em termos de eficiência, em função do volume e distância da rota. Nesta matriz podemos verificar que, por exemplo, independentemente da distância, o modal rodoviário é indicado para transportar pequenos volumes, já o modal dutoviário é indicado para a movimentação de grandes volumes.

## Modelo Conceitual - Matriz de Transportes

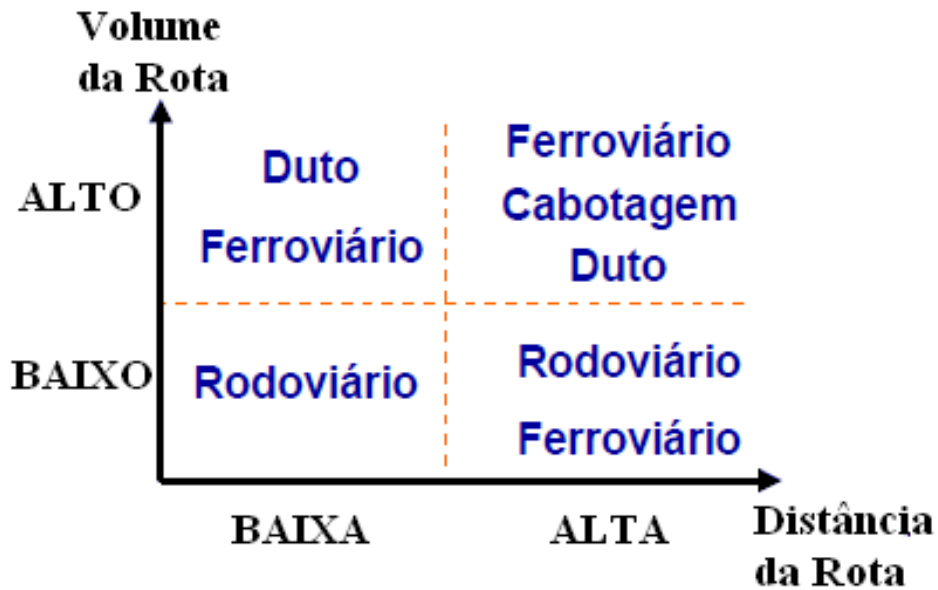


Figura 3-1: Modelo conceitual da matriz de transportes de transferência

As figuras abaixo apresentam esquemas simplificados da cadeia de suprimento de derivados, com foco na área de *downstream*, considerando os pontos físicos, as movimentações entre os elos da cadeia e os modais de transporte mais utilizados nas movimentações.

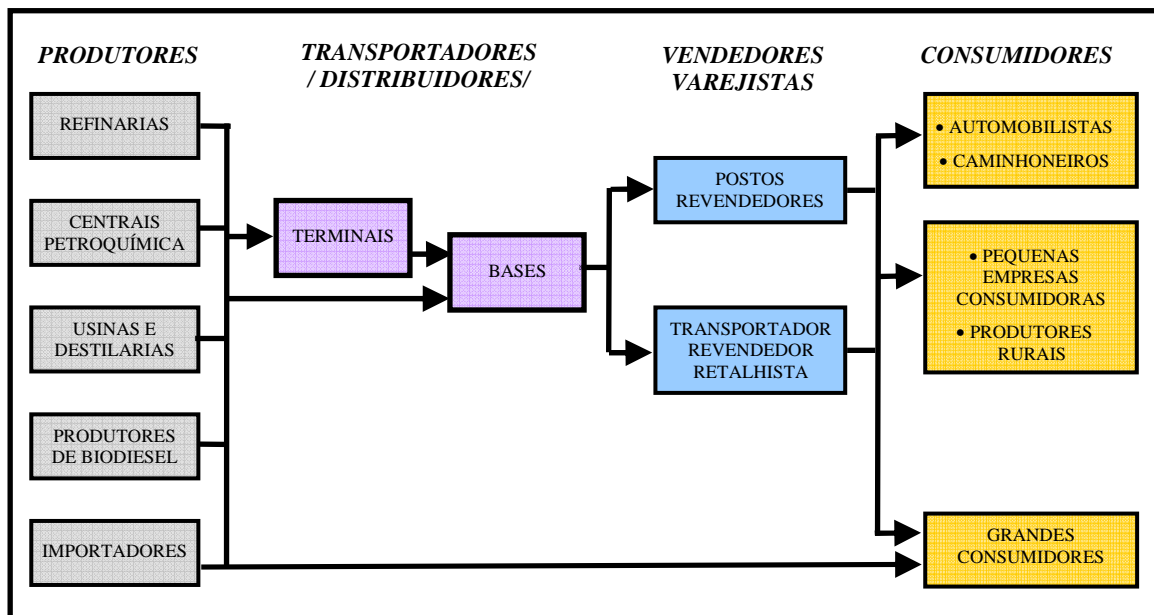


Figura 3-2: Esquema simplificado da cadeia de distribuição de derivados de petróleo

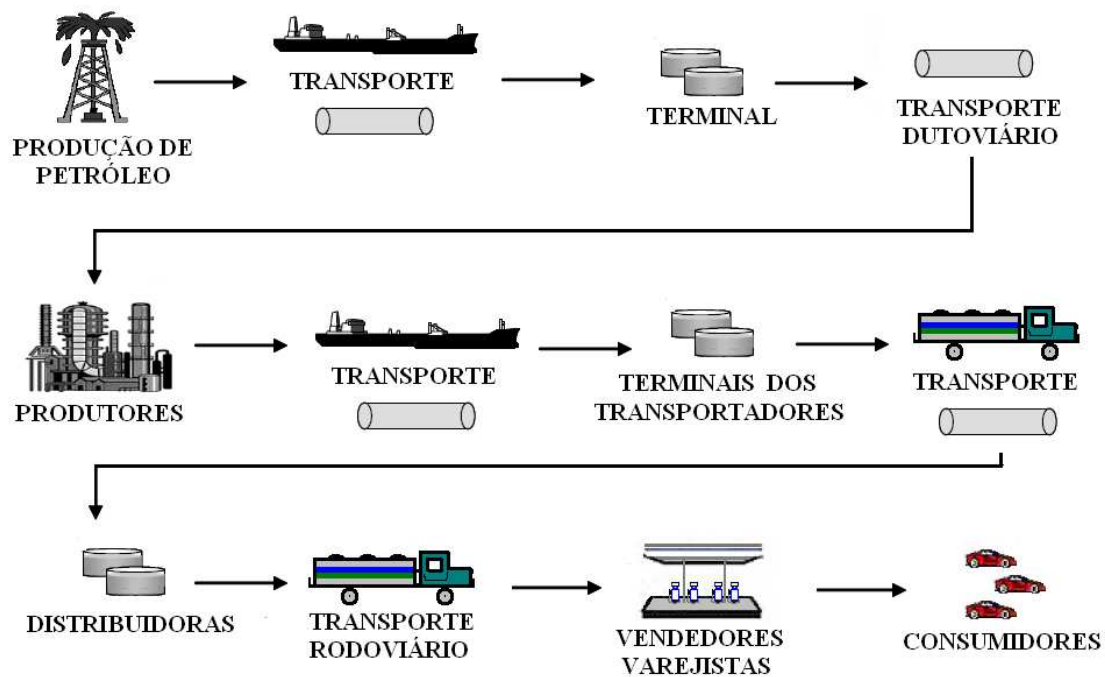


Figura 3-3: Modais de transporte tipicamente utilizados

Algumas características típicas da cadeia de distribuição de derivados de petróleo são:

- Os transportes entre os campos de produção de petróleo e as refinarias e entre as refinarias e os terminais das transportadoras são realizados através dos modais dutoviário e marítimo;
- As movimentações entre os terminais das transportadoras e as bases das distribuidoras são realizadas através de caminhões ou dutos dedicados que transportam apenas um tipo de produto;
- As movimentações para os pontos de venda no varejo são realizadas através do modal rodoviário;
- Os transportes de biocombustíveis (álcool anidro, álcool hidratado e biodiesel) entre as usinas produtoras e os terminais e bases de distribuição são tipicamente realizados através de trens e caminhões.

Para CHAN (2006), a cadeia logística da indústria do petróleo caracteriza-se pela sua rigidez, dimensão e complexidade, com altos custos de investimentos com equipamentos de exploração e produção, plantas de refino, sistemas de armazenamento e de transporte, bases de distribuição, representando na sua maioria custos afundados.

Um dos principais problemas desta cadeia de suprimento está relacionado à infra-estrutura dos transportes. Estradas mal conservadas e cheias de buracos, frotas de caminhões velhos e mal conservados, falta de vagões tanques nas ferrovias, canais de acesso aos portos assoreados restringindo a navegação dos navios, por exemplo, influenciam no desempenho da cadeia e aumentam o seu custo.

A abertura do mercado e o fim do monopólio do petróleo em 1997 iniciaram uma nova fase desta cadeia, porém ainda são necessários mais investimentos em infraestrutura e maior integração e controle de processos da cadeia de suprimentos para uma eficiência logística.

### **3.3 O POLIDUTO OSBRA**

Este item apresenta as características do poliduto OSBRA relevantes para a construção dos modelos deste trabalho. Considerando que o objetivo do trabalho não é apresentar resultados sobre uma instalação específica e sim uma metodologia de estudos e desenvolvimentos acadêmicos, as informações e dados de cunho confidencial e que por ventura poderiam contrariar as diretrizes internas de segurança da informação da empresa foram suprimidas ou alteradas, sem prejuízo para a qualidade do trabalho.

O sistema considera a movimentação, o armazenamento, e o fornecimento ao mercado consumidor dos produtos combustíveis derivados de petróleo. Fisicamente, o ponto de suprimento é representado pela refinaria REPLAN, localizado na cidade de Paulínia/SP, de onde os produtos são bombeados, através do poliduto OSBRA, para abastecimento dos terminais de Ribeirão Preto, Uberaba, Uberlândia, Goiânia e Brasília. Nestes terminais os produtos são armazenados e entregues a terminais de distribuição através dos modais dutoviário e rodoviário, para atendimento das demandas locais.

A área de abrangência deste sistema pode ser verificada na figura abaixo, aonde a linha azul indica o percurso do poliduto e os pontos verdes a localização dos terminais e da refinaria.

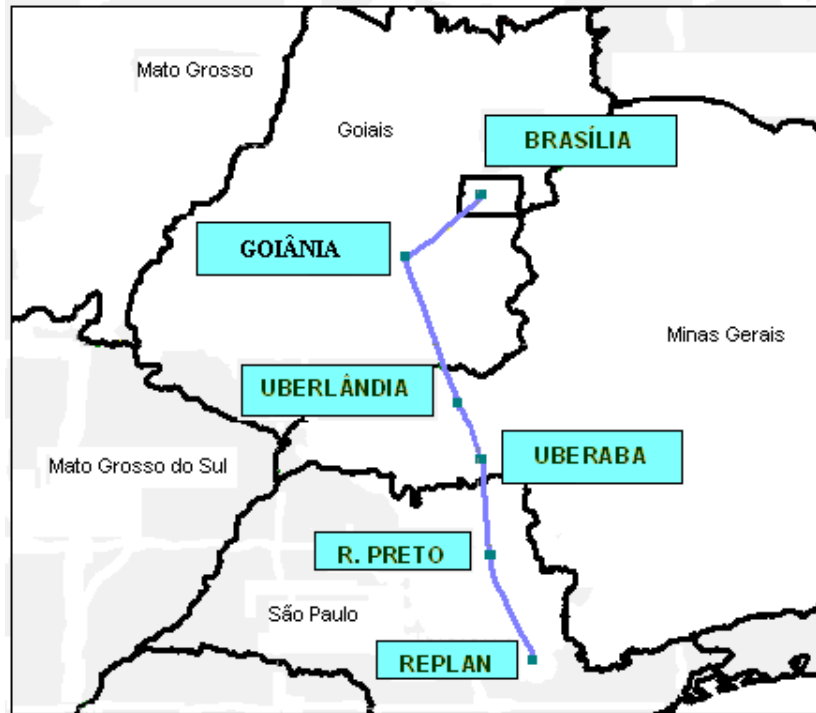


Figura 3-4: Área de abrangência do sistema de distribuição do OSBRA

Os principais produtos movimentados através do sistema são: gasolina, diesel e GLP. Um produto especial é utilizado como selo isolante, separando as bateladas de diesel, gasolina e GLP, e eliminando a contaminação entre os produtos.

O seqüenciamento típico utilizado para movimentação das bateladas no OSBRA é o seguinte: diesel / selo / gasolina / selo / GLP / selo / gasolina / selo / diesel. A figura 3-5 abaixo apresenta o esquema deste seqüenciamento.



Figura 3-5: Seqüenciamento de produtos no OSBRA

Os produtos bombeados na refinaria percorrem o OSBRA para depois serem enviados para dentro dos tanques dos terminais. Sempre que um volume específico é retirado do duto e enviado para dentro de um tanque de um terminal, em regime normal de operação, a mesma quantidade deste ou de outro produto, é bombeada para dentro do OSBRA na refinaria.

As retiradas dos produtos nos terminais podem ser simultâneas, ou seja, é possível que dois ou mais terminais retirem produtos do duto ao mesmo tempo, desde que o somatório das vazões de saída seja igual à vazão de entrada. A equação 3-1 abaixo demonstra esta condição de equilíbrio, onde  $Q_{Entrada}$  representa a vazão de entrada no OSBRA e  $Q_{Saída}$  representa a vazão de saída dos OSBRA para dentro dos tanques dos terminais.

$$Q_{Entrada} = \sum Q_{Saída}$$

Equação 3-1: Condição de equilíbrio do duto

Outra característica importante do sistema é que parte de toda batelada bombeada é enviada para o terminal de Goiânia, além disso, por questões operacionais, sempre que a refinaria estiver bombeando para o OSBRA, o terminal de Goiânia estará recebendo produto em seus tanques.

A quantidade máxima de produtos que pode ser enviada num mês através do duto, ou seja, a capacidade máxima mensal do duto é definida como o produto entre o número de horas operacionais diários (24), vezes o número de dias do mês ( $d_{mês}$ ), vezes a vazão média de operação ( $Q_{med}$ ), conforme abaixo. Porém, como o sistema físico requer paradas para manutenção a capacidade recomendada para operação do duto é de 80% a capacidade máxima.

$$C_{Máxima} = Q_{med} \times 24 \times d_{mês}$$

Equação 3-2: Capacidade máxima do duto

$$C_{Recomendada} = C_{Máxima} \times 0,8$$

Equação 3-3: Capacidade recomendada do duto



O poliduto pode ser dividido em cinco seguimentos distintos. Cada seguimento possui características de comprimento, volume e diâmetro próprio e que influenciam diretamente nas quantidades e nos tempos entre recebimento e envio dos produtos. Assim, o tempo necessário para que um produto seja entregue no seu destino ( $t_{deslocamento}$ ) depende da seção transversal ( $\pi.r^2$ ), do comprimento ( $c$ ) e da vazão de entrada do produto no duto ( $Q_{Entrada}$ ).

$$t_{deslocamento} = \frac{\pi.r^2 \times c}{Q_{Entrada}}$$

Equação 3-4: Tempo total de deslocamento do produto dentro do duto

O primeiro trecho (OSBRA 1), que interliga a refinaria REPLAN em Paulínia/São Paulo a Ribeirão Preto também em São Paulo, possui um comprimento aproximado de duzentos e sete quilômetros de extensão. São necessários cerca de quarenta mil metros cúbicos para que o produto bombeado na refinaria comece a chegar ao primeiro destino.

O segundo e o terceiro trecho (OSBRA 2 e OSBRA 3) possuem características semelhantes, seus dutos interligam o terminal de Ribeirão Preto em São Paulo ao terminal de Uberaba e os terminais de Uberaba a Uberlândia, ambos em Minas Gerais. O comprimento de cada trecho é de aproximadamente cento e trinta quilômetros. Para fazer chegar produto em Uberlândia é necessário bombear mais de noventa e cinco mil metros cúbicos de produto na refinaria.

O trecho entre Uberlândia e o terminal de Goiânia (OSBRA 4) possui a maior extensão do duto, cerca de trezentos e dez quilômetros de comprimento.

O último trecho conduz apenas o volume destinado para o terminal de Brasília e o seu diâmetro é reduzido em relação aos demais trechos do duto. Com isso, apesar dos cento e setenta e seis quilômetros de comprimento, o volume necessário para movimentar um produto por sua extensão é menor, porém a restrição do diâmetro também implica na redução da vazão no trecho.

Abaixo segue a tabela 3-2 com o comprimento de cada trecho do OSBRA.

<b>Duto</b>	<b>Origem</b>	<b>Destino</b>	<b>Comprimento (km)</b>
OSBRA 1	Refinaria	Ribeirão Preto	207
OSBRA 2	Ribeirão Preto	Uberaba	135
OSBRA 3	Uberaba	Uberlândia	131
OSBRA 4	Uberlândia	Goiânia	310
OSBRA 5	Goiânia	Brasília	176

Tabela 3-2: Comprimento do OSBRA - Petrobras

### **3.4 OS TERMINAIS DE DISTRIBUIÇÃO**

Neste item são descritas as principais características dos terminais que impactam na construção dos modelos. Assim como na descrição do OSBRA, informações e dados confidenciais foram suprimidos ou alterados, sem prejuízo a qualidade do trabalho.

Cada terminal recebe apenas os volumes dos produtos destinados para atendimento das demandas na sua região, ou seja, os produtos, uma vez inseridos no duto, saem apenas para os tanques dos terminais de destino.

Por restrições de alinhamentos de dutos internos nos terminais e de qualidade dos produtos, cada tanque recebe um único tipo de produto. A capacidade de armazenamento de cada produto, ou seja, o volume, número de tanques por produto e o giro máximo dos tanques em cada terminal (número máximo de vezes que um tanque realiza um ciclo completo de enchimento e esvaziamento dentro de um tempo específico) determinam os volumes máximos que serão entregues em seus mercados.

Outras características e restrições operacionais como, por exemplo, vazões de entrada e de saída dos tanques, tempo de recertificação (verificação da qualidade) dos produtos, demanda do mercado local e horário de funcionamento dos terminais influenciam no desempenho do sistema. Qualquer atraso pontual para recebimento dos produtos pode impactar no desempenho de toda a cadeia, reduzindo, por exemplo, o nível de serviço.

A seguir um resumo das características gerais da refinaria e dos terminais do sistema estudado:

## **REPLAN**

Na REPLAN são produzidos os derivados de petróleo que abastecem a região de Paulínia e as regiões atendidas pelo OSBRA. Eventualmente, quando as demandas dos mercados excedem a sua capacidade de produção, a REPLAN recebe produtos de outras refinarias através da malha de dutos existente.

Os produtos são armazenados em parques de tanques e posteriormente enviados para as distribuidoras ou bombeado para o OSBRA. Os bombeamentos são sequenciais e ocorrem durante vinte e quatro horas por dia. Antes que um tanque seja totalmente esvaziado, um novo tanque é alinhado e o processo continua sem interrupções.

O número e o volume das bateladas dos produtos são definidos para atendimento da demanda futura considerando um intervalo de um mês, conforme será detalhado no item 3.5 adiante.

## **Ribeirão Preto**

O terminal de Ribeirão Preto opera com dois tipos de produto diesel e gasolina, e as operações de recebimento, realizada através do OSBRA 1, funcionam vinte e quatro horas por dia.

As operações para verificação da qualidade dos produtos são realizadas logo após o enchimento de um tanque ou após o fim do recebimento de todo o volume pedido. Cada verificação é concluída em vinte e quatro horas e o processo compreende as etapas de coleta dos produtos, movimentação das amostras e análises laboratoriais. Após a verificação e aprovação da qualidade, os produtos são enviados para as distribuidoras através do modal dutoviário.

Diariamente o terminal atende a demanda do mercado local, sem restrições de horários. Eventuais demandas não atendidas por indisponibilidade de produto são acumuladas e entregues assim que houver produto disponível.

Nas operações de envio são utilizados dutos dedicados conectados diretamente entre o terminal e seus clientes, sem pontos intermediários. Esta característica elimina a contaminação entre os produtos e possibilita movimentações simultâneas entre produtos diferentes.

A figura abaixo ilustra esta configuração, representando as conexões entre o terminal de Ribeirão preto e um terminal de distribuição

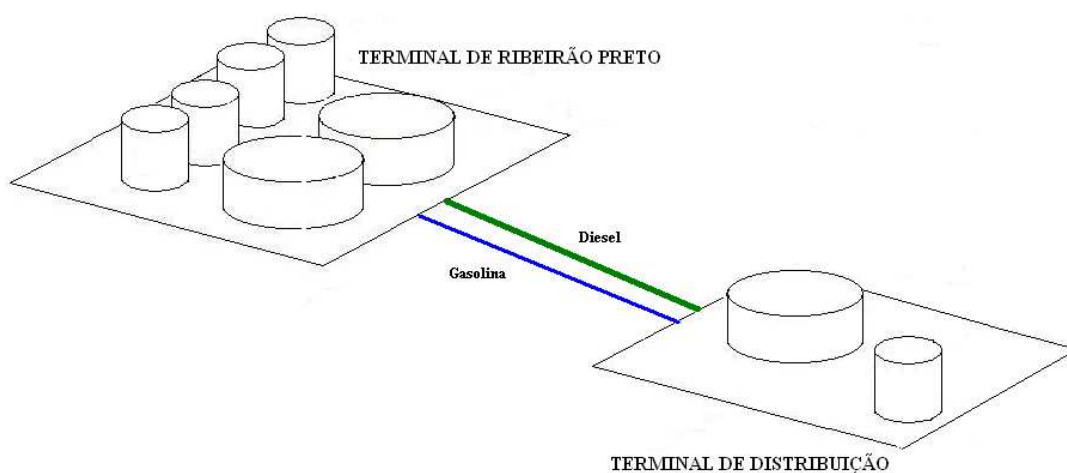


Figura 3-6: Esquema de interligação de entrega do terminal de Ribeirão Preto

### **Uberaba**

O Terminal de Uberaba pode receber diesel e gasolina durante vinte e quatro horas por dia através do OSBRA 2, sem interrupções.

As operações de entrega para o mercado acontecem durante dezesseis horas por dia, todos os dias da semana.

Assim como no terminal de Ribeirão Preto, os produtos recebidos são amostrados para verificação da qualidade durante vinte e quatro horas.

Após a verificação, os produtos, são enviados para as distribuidoras através de uma plataforma de carregamento rodoviário. A plataforma possui três baias de

carregamento tipo *bottom*, por baixo do caminhão, e cada baia três braços de carregamento, sendo um de gasolina e dois de óleo diesel. Com esta configuração é possível carregar três caminhões e até nove compartimentos simultaneamente.

As movimentações sequenciais entre dois ou mais modais de transportes exigem atenção especial ao dimensionamento dos recursos na interface e a sincronia entre eventos de recebimento e envio. No caso específico deste terminal, o número de caminhões disponíveis para atendimento ao mercado e a capacidade instalada de carregamento impacta no desempenho de toda cadeia.

### **Uberlândia**

O terminal de Uberlândia pode receber e enviar diesel e gasolina vinte e quatro horas por dia, através do OSBRA 3, sem interrupções.

Assim como o terminal de Ribeirão Preto, os produtos recebidos são armazenados e analisados para verificação da qualidade. Após a verificação e aprovação, os produtos são enviados para as distribuidoras através do modal dutoviário, atendendo as solicitações diárias através de dutos dedicados conectados diretamente entre o terminal e a distribuidora.

### **Goiânia**

O terminal de Goiânia, o maior do sistema, pode receber diesel, gasolina e GLP 24 horas por dia através do OSBRA 4. Conforme mencionado anteriormente, sempre que poliduto está em operação o terminal de Goiânia está recebendo produto.

Quando comparado com os outros terminais do sistema, o terminal de Goiânia possui a maior capacidade de armazenamento. Quase todo selo utilizado na separação entre produtos é enviado para seus tanques, apenas uma pequena parte deste produto segue para Brasília. O selo recebido é misturado aos demais produtos mantendo as especificações adequadas às necessidades do mercado.

Assim como a maioria dos terminais, os produtos recebidos são armazenados e analisados para verificação da qualidade em vinte e quatro horas, depois são enviados através de dutos dedicados para atendimento da demanda local. O GLP, apesar de ser

armazenado em esferas pressurizadas, é processado de forma similar aos outros produtos.

### **Brasília**

O terminal de Brasília pode operar com diesel e, gasolina vinte e quatro horas por dia tanto para recebimento como para envio dos produtos. Todo produto que entra no último trecho, OSBRA 5, é enviado para seus tanques.

Os processos do terminal são semelhantes aos de Goiânia, exceto pelo fato de que o terminal pode estar parado, sem receber produto, com o poliduto em operação. Neste caso, o último trecho do OSBRA (5) também fica parado.

O quadro abaixo apresenta o resumo dos produtos movimentados e os modais operados em cada terminal.

<b>Terminais</b>	<b>Produtos</b>	<b>Modal de Recebimento</b>	<b>Modal de envio</b>
Ribeirão Preto	diesel e gasolina	Dutoviário	Dutoviário
Uberaba	diesel e gasolina	Dutoviário	Rodoviário
Uberlândia	diesel e gasolina	Dutoviário	Dutoviário
Goiânia	diesel, gasolina e GLP	Dutoviário	Dutoviário
Brasília	diesel e gasolina	Dutoviário	Dutoviário

Tabela 3-3: Produtos e modais de transporte nos terminais - Petrobras

### **3.5 A CAPACIDADE DO POLIDUTO**

O aumento do número de produtos movimentados e a previsão de crescimento da demanda por derivados de petróleo nas regiões atendidas pelo OSBRA torna fundamental avaliar o desempenho do sistema atual, identificar gargalos e verificar possíveis investimentos em infra-estrutura para o aumento da capacidade instalada.

Tradicionalmente, a definição dos volumes das bateladas e os intervalos de tempo entre ressuprimentos são calculados tendo como base a previsão de demanda de cada produto em todos os terminais para um intervalo de tempo futuro de um mês. A figura 3-7 abaixo mostra um esquema onde os fluxos de informações das necessidades

futuras saem dos terminais de distribuição e chegam à refinaria. Lá as bateladas e os ciclos são definidos e os produtos seguem um caminho inverso na direção dos terminais de distribuição.

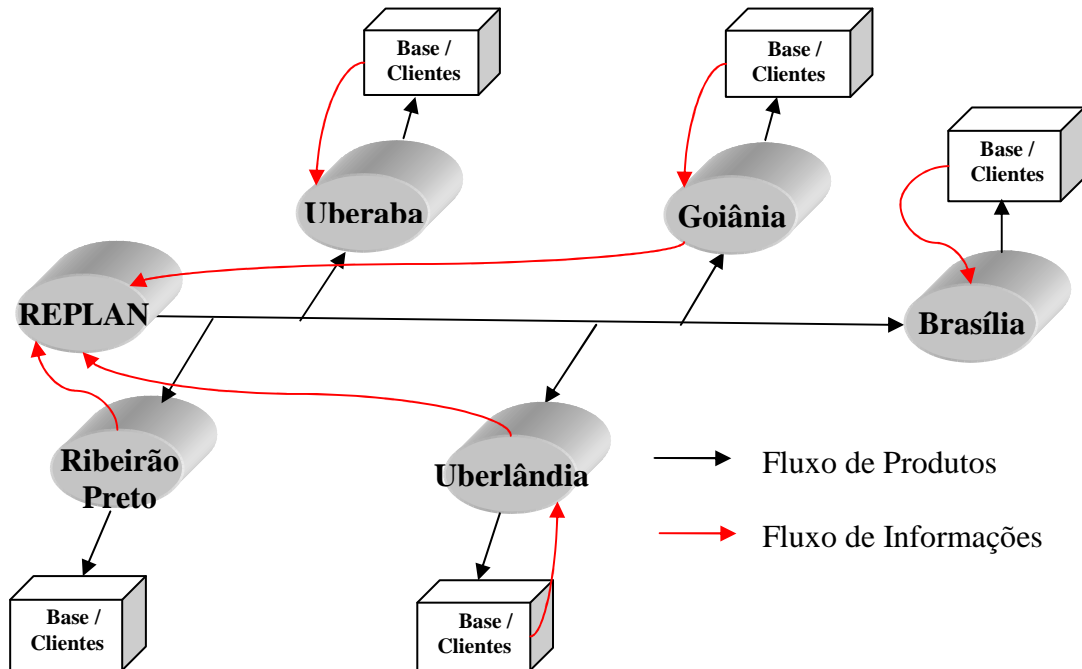


Figura 3-7: Fluxo de informações e produtos na cadeia de suprimentos

A capacidade de movimentação de um sistema como o OSBRA passa não só pelo seu dimensionamento físico (diâmetro dos dutos, vazões de escoamento e capacidade de armazenamento nos terminais) bem como aspectos e definições estratégicas adotados no planejamento e na execução dos procedimentos operacionais.

De uma forma geral, o planejamento estratégico, a execução dos procedimentos operacionais, o dimensionamento dos recursos para movimentação sequencial de mais de um tipo de produto e o abastecimento de vários terminais ao longo do OSBRA consideram os seguintes aspectos:

- O produto utilizado como selo possui custo elevado. O envio de pequenas bateladas aumenta o número de interfaces e o volume do selo produzido, aumentando o custo total dos produtos;

- Por outro lado, grandes bateladas e poucas interfaces aumentam o intervalo de tempo entre o envio consecutivo de um mesmo produto (ciclo), podendo levar ao desabastecimento do mercado.
- O tempo entre ressuprimentos de um mesmo produto e o dimensionamento das bateladas dependem do número de produtos movimentados, da vazão de escoamento no duto, do número de terminais e da demanda de cada terminal. Por exemplo, o tempo entre abastecimentos consecutivos de gasolina num terminal, depende dos volumes e dos tempos de movimentação de diesel e GLP.
- A ordenação da seqüência das bateladas na entrada do duto influencia no desempenho do sistema. O problema se agrava quando o número de produtos cresce e o tempo entre ressuprimentos aumenta. Por exemplo, o desempenho do sistema ao enviar a seqüência diesel/gasolina/GLP/gasolina/diesel é diferente do desempenho da seqüência dieselA/dieselB /gasolina/GLP /gasolina/dieselA/dieselB.
- O número de vezes que a seqüência se repete para atender a demanda solicitada dentro do mês também é fundamental. Este ciclo de repetições deve garantir a manutenção de um estoque mínimo nos terminais, um intervalo de tempo entre ressuprimentos suficientes para evitar *stockout* dos produtos e o menor número de interfaces possíveis.
- O sincronismo entre a entrada e a saída dos produtos nos tanques dos terminais é fundamental. A variabilidade da demanda e a capacidade de retirada dos produtos deve ser considerada para definição dos volumes movimentados. Atenção especial deve dada quando os modais de transporte utilizados para entrada e saída de produtos nos tanques são diferentes.

O conjunto de restrições acima vem sendo largamente estudado em problemas de otimização. Em seu trabalho de dissertação SOUZA FILHO (2007) faz uma ótima



revisão sobre o Problema do Transporte Dutoviário (PTD) apresentando várias definições, estudos e abordagens sobre o tema, entres elas pode-se citar:

“O Problema do Transporte Dutoviário consiste basicamente na determinação de quatro componentes: quais produtos serão bombeados, em que quantidade, como serão distribuídos entre os diversos sistemas e qual a seqüência de bombeamento a ser seguida. Para tal, é preciso que se respeitem: as restrições de limites de estoques, tanto nas refinarias como nas bases de distribuição do produto, as limitações de vazões, as restrições de interface, restrições de atendimento da demanda, dentre outras, visando minimizar os custos operacionais (SASIKUMAR *et al.*, 1997).”

Diferentemente dos trabalhos de otimização, mas talvez de forma complementar, o modelo apresentado nos próximos capítulos propõe uma metodologia para análise da capacidade da cadeia e avaliação de alternativas para melhorar o seu desempenho.

Em cada cenário será possível combinar alternativas de estratégias para configuração dos recursos e dos procedimentos. A capacidade do sistema será verificada através do desempenho de indicadores medidos a cada simulação executada.

## CAPÍTULO IV

### 4 CONSTRUÇÃO DOS MODELOS CONCEITUAL E COMPUTACIONAL

Segundo BANKS (1985) a construção do modelo conceitual deve extrair a essência do problema em estudo e a construção do modelo computacional deve fazer uma tradução do conceitual para uma linguagem de programação. Considerando esta ótica, neste capítulo serão apresentadas as construções do modelo conceitual e do modelo computacional.

Para dar início a construção do modelo conceitual foram realizadas entrevistas e reuniões com as equipes responsáveis pelas operações, planejamento e coordenação do sistema. A estratégia utilizada para o levantamento dos dados e informações foi a construção de uma visão detalhada formada pelas várias visões complementares do sistema. As etapas foram as seguintes:

- Entrevistas com os operadores e construção da primeira visão do sistema;
- Entrevista com os responsáveis pelo planejamento de curto prazo, complemento da primeira visão elaborada e identificação das inconsistências entre as informações obtidas;
- Entrevistas com os responsáveis pelo planejamento de longo prazo, complemento da visão preliminar e identificação das inconsistências;
- Entrevista com os coordenadores do sistema e consolidação da visão do sistema com esclarecimento das dúvidas e inconsistências;
- Validação da visão detalhada do sistema com os operadores, planejadores e coordenadores do sistema;

- Obtenção de dados históricos referentes às movimentações realizadas nos últimos cinco anos.

Após a coleta das informações, a construção da visão detalhada do sistema e uma análise preliminar dos dados, o modelo conceitual foi construído.

#### **4.1 MODELO CONCEITUAL**

A identificação do cerne do problema e o entendimento da sua complexidade facilitam a modelagem da realidade e a análise dos resultados. O modelo conceitual é uma importante ferramenta para definição da abrangência do estudo, os dados de entrada, as interfaces com os processos não modelados e os resultados esperados.

De uma forma geral, através de uma avaliação criteriosa deve-se selecionar os processos cujos comportamentos e resultados são relevantes para os objetivos da simulação. A modelagem de partes da realidade que não atendam a estes requisitos aumenta o tempo de implementação e deve ser evitada.

Processos que influenciam o modelo, mas as análises de seus comportamentos não são importantes para os objetivos do projeto, devem ser simplificados ou representados através de interfaces que reproduzam os eventos de interferência.

Estes eventos devem ser mapeados quanto à frequência, duração e intensidade e analisados estatisticamente para serem reproduzidos. Em outros casos, quando não existem dados reais disponíveis os parâmetros para reprodução devem ser estimados.

Além das interfaces, existem outras simplificações, que reduzem o tempo de desenvolvimento sem comprometer a qualidade dos resultados. Em alguns casos as simplificações são fundamentais para viabilizar a representação de um processo.

Outro ponto importante do modelo conceitual são as definições das restrições existentes. As restrições referem-se a limites e condições sob as quais os processos devem ser submetidos durante sua execução. Caso não sejam respeitados, o modelo de

simulação perde aderência com o sistema real. Exemplos aplicados ao modelo são os tamanhos mínimos e máximos das bateladas no OSBRA e a obrigatoriedade do envio dos produtos para o terminal de Goiânia em todas as bateladas.

#### **4.1.1 A Essência do Problema**

A análise da capacidade logística de uma rede duto-rodoviária está relacionada à verificação da adequação dos recursos físicos instalados e dos procedimentos adotados para atendimento da demanda solicitada.

A rede de distribuição do OSBRA é bastante extensa e abrangente. Os principais recursos físicos e procedimentos operacionais que interferem na sua capacidade logística são:

- A capacidade de estoque na origem, ou seja, número e volume dos tanques na REPLAN;
- O dimensionamento e o seqüenciamento das bateladas dos produtos na admissão do duto;
- Diâmetro do duto, capacidade das bombas e vazões dos produtos ao longo do duto;
- A capacidade de estoque nos terminais, ou seja, número e volume dos tanques em cada terminal;
- O dimensionamento da plataforma de carregamento no terminal de Uberaba e dos ramais dutoviários nos demais terminais para atendimento das demandas.

Considerando que a avaliação da capacidade produtiva da refinaria e os recursos utilizados para a produção dos derivados não fazem parte do problema, será adotada a premissa de que a refinaria é capaz de atender a todas as demandas do sistema, ou seja, não existem limitações na capacidade de produção.

A análise da adequação da rede duto-rodoviária do OSBRA proposta neste trabalho utiliza indicadores para medir a realização do atendimento da demanda. Outros indicadores, como por exemplo, nível dos estoques e giro médio dos estoques, indicam a resposta do modelo para a variabilidade da demanda ao longo do ano.

Os indicadores selecionados para a avaliação da capacidade da rede logística são os seguintes:

- Nível de serviço – representado pela relação entre a demanda solicitada pela demanda atendida acumulada ao longo do ano, ou seja, considerando os atendimentos em atraso;
- Giro do estoque, ou seja, quantas vezes o estoque médio é vendido no período de simulação;
- Estoques médios nos tanques da refinaria e dos terminais;
- Evolução dos estoques nos tanques da refinaria e dos terminais ao longo do tempo;
- *Stockout*, ou seja, situações em que a demanda não pode ser atendida por falta de produto disponível no estoque.

#### **4.1.2 Abrangência**

O modelo conceitual abrange as áreas de estocagem de produtos processados da refinaria REPLAN, onde são armazenados todos os produtos para atendimento da demanda, o poliduto OSBRA, os terminais de distribuição e as bases de carregamento.

Para definir a abrangência e facilitar o entendimento dos limites impostos ao modelo, os processos foram identificados e posteriormente classificados quanto à sua influência e relevância de seu comportamento para a análise dos resultados. Para facilitar o entendimento dos critérios de seleção, os processos foram classificados em quatro classes, sendo que cada classe define a necessidade ou forma de modelagem.

As classes são as seguintes:

- 1ª classe, o processo influencia no objeto de estudo e a análise do seu comportamento é relevante para o entendimento dos resultados do modelo;
- 2ª classe, o processo influencia no objeto de estudo, mas a análise de seu comportamento não é relevante para o entendimento dos resultados do modelo;
- 3ª classe, engloba os processos que não influenciam, mas são influenciados pelo desempenho do objeto de estudos e a análise do seu comportamento é relevante para os resultados do modelo.
- 4ª classe, o processo não influencia, e pode ou não ser influenciado pelo objeto de estudo, além disso, a análise de seu comportamento não é relevante para os resultados do modelo;

Apenas os processos identificados na primeira e na terceira classe foram modelados. Já os processos que influenciam no desempenho do modelo, mas as análises de seus comportamentos não são relevantes (segunda classe) foram representados através de interfaces.

A tabela 4-1 com os processos e a classificação quanto à modelagem é apresentada abaixo. A coluna SITUAÇÃO resume a informação sobre a modelagem ou não dos processos, e ainda se o processo será representado através de uma interface para reprodução dos dados ou eventos de interferência:

PROCESSOS		CLASSE	SITUAÇÃO
1-	Produção dos derivados de petróleo na REPLAN	2ª	INTERFACE
2-	Certificação dos produtos nos tanques da REPLAN	1ª	MODELADO
3-	Geração da demanda no mercado local da REPLAN	2ª	INTERFACE
4-	Atendimento da demanda no mercado local da REPLAN	1ª	MODELADO
5-	Consumo dos produtos no mercado local da REPLAN	4ª	NÃO MODELADO

6-	Dimensionamento e programação das bateladas dos produtos no OSBRA	1ª	MODELADO
7-	Envio das bateladas através do OSBRA na REPLAN	1ª	MODELADO
8-	Movimentação dos produtos através do OSBRA	1ª	MODELADO
9-	Retirada dos produtos do OSBRA para os tanques dos terminais	1ª	MODELADO
10-	Certificação dos produtos nos tanques dos terminais do OSBRA	1ª	MODELADO
11-	Geração da demanda no mercado local dos terminais do OSBRA	2ª	INTERFACE
12-	Envio dos produtos para atendimento das demandas através do modal rodoviário no terminal de Uberaba	1ª	MODELADO
13-	Envio dos produtos para atendimento das demandas através do modal dutoviário demais terminais do OSBRA	1ª	MODELADO
14-	Consumo dos produtos na região dos terminais do OSBRA	4ª	NÃO MODELADO

Tabela 4-1: Classificação dos processos da cadeia logística do OSBRA

Os mecanismos de consumo dos produtos nos mercados apesar de relacionados à movimentação dos produtos não serão modelados. Isto pode ser explicado pelo fato de que mudanças das suas características não dependem exclusivamente dos investimentos diretos na cadeia do OSBRA e, portanto as análises do seu desempenho não teriam aderência ao escopo proposto para este modelo.

Já a demanda dos mercados consumidores é de total interesse e o seu comportamento influencia no modelo. Porém, como os processos de geração das demandas, através dos mecanismos de controle, não serão modelados, as demandas serão criadas através de valores gerados com base em dados históricos levantados no modelo real.

Nos extremos da seqüência de operações, os processos produtivos para geração dos produtos na REPLAN e os pontos de revenda para os consumidores finais serão representados apenas pela variabilidade dos dados históricos. Além disso, outros processos, movimentações e instalações externas ao OSBRA e aos seus terminais não serão modelados.

### **4.1.3 Processos Modelados e Restrições**

Segue abaixo um complemento da descrição dos processos apresentado no capítulo 3, com ênfase nas regras, restrições e pontos relevantes para a modelagem:

#### **Certificação dos produtos nos tanques da REPLAN**

A produção da refinaria é enviada para a área de Transferência e Estocagem, onde é armazenada. Os produtos chegam em bateladas e são enviados para os tanques vazios conforme a disponibilidade. Cada tanque está habilitado para receber apenas um tipo de produto.

Assim como nos terminais do OSBRA, após o enchimento de cada tanque, o produto tem a sua qualidade testada para aprovação. O processo de análise da qualidade engloba o repouso para homogeneização e estabilização do produto, o recolhimento de várias amostras, o transporte e análise das amostras nos laboratórios, e a emissão dos relatórios das análises.

Durante o processo de certificação, até que as análises sejam aprovadas, o volume do tanque fica indisponível para todas as movimentações, e caso as amostras sejam reprovadas o produto do tanque é tratado para adequação até que novos testes aprovem a sua qualidade.

O tempo de cada certificação é de vinte e quatro horas. A redução do tempo de certificação é um dos fatores que impactam na capacidade logística do OSBRA.

#### **Atendimento da demanda no mercado local da REPLAN**

O estoque de cada produto armazenado na área de Transferência e Estocagem é dividido e reservado proporcionalmente ao tamanho dos mercados atendidos pela refinaria. Diariamente a refinaria recebe pedidos para atender a demanda do mercado local de gasolina, diesel e GLP e ao receber um pedido, o volume solicitado é entregue e debitado do seu estoque reservado, já os estoques armazenados para atender a outras áreas não são afetados.



Os volumes solicitados pelo mercado local variam em função do dia da semana e do período do ano e cada produto possui uma variabilidade diferente do outro. Os pedidos seqüenciais de um produto são retirados, em vazão constante, de um mesmo tanque até o seu completo esvaziamento.

### **Dimensionamento e programação das bateladas dos produtos no OSBRA**

Mensalmente, os programadores do sistema verificam a previsão da demanda de cada produto para cada terminal no mês subsequente. Os volumes são totalizados por produtos e as bateladas são calculadas através da divisão entre o volume total de cada produto pelo número de ciclos pré-definido.

O número de ciclos normalmente utilizado pelos programadores é quatro, ou seja, a cada sete dias a mesma seqüência de produtos é bombeada desde a REPLAN até os terminais de distribuição.

Na interface entre duas bateladas consecutivas, partes dos produtos saem de especificação. Para eliminar a degradação ou a perda de parte dos produtos, um selo com características especiais é adicionado entre cada interface. Ao chegar no terminal de destino, o volume do selo é dividido entre os dois produtos consecutivos em proporções que preservem as características das duas bateladas.

Uma vez definido o número e o volume das bateladas de cada produto, as bateladas são organizadas com a seqüência definida anteriormente.

### **Envio das bateladas do OSBRA na REPLAN**

Para que um produto seja enviado através do duto, as seguintes condições devem ser satisfeitas:

- Produto disponível na origem;
- Selo disponível na origem;
- Previsão de espaço disponível nos tanques de destino;

A vazão de bombeamento na refinaria é determinada pelo número de retiradas simultâneas nos terminais, pela capacidade máxima das bombas, pelas características construtivas do duto e pela limitação de energia elétrica contratada junto às concessionárias de energia dentro dos horários pré-definidos (tarifa horosazonal).

### **Movimentação dos produtos através do OSBRA**

Regras complementares para a movimentação dos produtos são:

- Em caso de falta de espaço disponível nos tanques de Goiânia o duto pára;
- Dentro do horário de ponta, intervalo de horas consecutivas cuja tarifa da energia elétrica é mais elevada, o número de bombas em operação e a vazão são reduzidos;
- A vazão no duto após cada terminal é uma relação direta entre a vazão de entrada e a de retirada.

### **Retirada dos produtos do OSBRA para os tanques dos terminais**

Regras e restrições complementares para a retirada dos produtos para os tanques dos terminais:

- A maioria dos terminais possui no máximo dois tanques por produto, sendo que cada tanque possui apenas um sistema para entrada/saída dos produtos. Comumente, a operação de retirada dos produtos do OSBRA para dentro dos tanques dos terminais é denominada sangria.
- Cada terminal recebe apenas o volume solicitado e o produto excedente no duto segue para o próximo terminal. Em regime permanente, sempre que um produto é bombeado na origem um ou mais produtos são retirados nos terminais.
- Os tanques possuem estados bem definidos que se repetem conforme a ordem apresentada na tabela abaixo:

ESTADO DO TANQUE		NÍVEL
1	Aguardando produto	Baixo
2	Recebendo	Subindo
3	Certificando	Alto
4	Aguardando demanda	Alto
5	Atendendo a demanda (Entregando produto)	Descendo

Tabela 4-2: Ciclo de operações dos tanques

- Para que uma sangria seja realizada é necessário ter um tanque aguardando o recebimento do produto (estado 1).
- Apenas vinte por cento do selo entre dois produtos segue no último trecho do duto entre os terminais de Goiânia e Brasília, oitenta por cento é retirado no terminal de Goiânia. Quando a seqüência de duas bateladas não segue para o terminal de Brasília, todo o selo é enviado para os tanques do terminal de Goiânia.
- No caso do GLP, todo o selo é enviado para uma esfera de recebimento de interface, processado e separado do GLP. O tempo médio deste processo é de 10 dias.
- Os terminais podem operar em (falso) pulmão, onde parte do produto recebido vai para o tanque e a outra parte vai direto para o cliente. Neste caso, os processos de recertificação são realizados nos tanques do cliente.

#### **Recertificação dos produtos nos tanques dos terminais do OSBRA**

Assim como nos tanques da refinaria, após o enchimento de cada tanque, o produto tem a sua qualidade reavaliada. O processo de recertificação é semelhante ao da REPLAN, porém mais simples. O número de análises laboratoriais é menor e o tempo total do processo é de apenas 10 horas.

#### **Envio dos produtos para atendimento das demandas através do modal dutoviário e rodoviário nos terminais do OSBRA**

Após a recertificação, o tanque está liberado para atender a demanda do mercado local. Os pedidos diários variam conforme a sazonalidade do mês e do dia na semana. As entregas dos produtos utilizam os modais dutoviário ou rodoviário.

Em Uberaba, onde o modal é o rodoviário, os carregamentos dos caminhões podem ser realizados em até três baias simultaneamente. Dependendo da distância percorrida entre origem e destino das cargas, um caminhão pode fazer mais de um carregamento por dia.

Nos outros terminais, à medida que os pedidos chegam, dependendo da disponibilidade do estoque, os produtos são entregues através de dutos. As operações ocorrem de forma interrupta durante 24 horas por dia.

#### **4.1.4 Interfaces do modelo**

As interfaces do modelo representam o limite entre as partes modeladas e o restante do sistema real não modelado, e reproduzem a influência que os processos externos exercem sobre o modelo.

As interfaces identificadas são as seguintes:

##### **Produção dos derivados de petróleo na REPLAN**

Considerando a premissa de que a produção anual da refinaria atende as demandas projetadas, a produção diária (*P.Diária*) foi calculada em três etapas, na primeira (Equação 4-1) calcula-se a produção mensal (*P.Mensal*) através da relação entre a produção projetada para o ano e o número de meses do ano.

$$P.Mensal(\text{produto}) = \frac{P.Anual(\text{produto})}{12}$$

Equação 4-1: Produção mensal

Na segunda etapa, representada através da equação 4-2, caso exista variabilidade dos dados de entrada, é encontrado um novo valor para a produção mensal, gerado segundo uma distribuição normal cuja média é a produção mensal calculada na etapa anterior (*P.Mensal*) e o coeficiente de variação (desvio padrão) previamente conhecido, e obtido através de dados históricos.

$$P.Mensal(prodoto) = Normal(P.mensal(prodoto), DesvioPadrãoMês)$$

Equação 4-2: Geração de nova *P.mensal* com distribuição normal

Finalmente na terceira etapa, equação 4-3, a produção diária é calculada através da relação entre a produção mensal e o número de dias do mês corrente

$$P.Diária(prodoto) = \frac{P.Mensal(prodoto)}{N^{\circ} DiasMês}$$

Equação 4-3: Volumes produzidos diariamente

Os volumes produzidos são acumulados em tanques específicos do processo. O envio para a área de Transferência e Estocagem ocorre em bateladas, conforme a disponibilidade de espaço, em volumes suficientes para o enchimento completo de no mínimo um tanque.

### **Geração da demanda no mercado local da REPLAN**

Assim como a produção, a forma como os produtos são consumidos ou os mecanismos utilizados para consumo não fazem parte do escopo deste trabalho. Porém, a representação dos volumes solicitados para consumo é fundamental já que influenciam na movimentação dos produtos dentro da cadeia.

A demanda anual não é consumida de forma uniforme durante os dias e meses do ano. Os volumes consumidos são influenciados por fatores, como por exemplo, os

períodos de colheita das safras agrícolas e os finais de semana prolongados que alteram o comportamento da demanda ao longo do período.

Para representar estas influências, foram analisados dados históricos com os volumes entregues pela refinaria ao mercado local durante um período de quatro anos. Foram utilizados dois fatores, um para determinar a influência da sazonalidade do dia da semana e outro para a sazonalidade do mês.

A demanda diária (*aDemDia*) foi calculada em três etapas, na primeira (Equação 4-4) calcula-se a demanda mensal (*aDemMês*) através da relação entre a demanda projetada para o ano, o fator da sazonalidade do mês corrente e o número de meses do ano.

$$aDemMês = \frac{DemandaAno \times fatorSazonalidadeMês}{12}$$

Equação 4-4: Cálculo da demanda mensal

Na segunda etapa, equação 4-5, foi aplicada o coeficiente de variação (desvio padrão) e encontrado um novo valor para a demanda mensal (*aDemMês*).

$$aDemMês = Normal(aDemMês, DesvioPadrãoMês)$$

Equação 4-5: Cálculo da demanda mensal com desvio padrão

Finalmente na terceira etapa, equação 4-6, a demanda diária (*aDemDia*) é calculada através da relação entre a demanda mensal, a sazonalidade do dia da semana e número de dias do mês corrente.

$$aDemDia = \frac{aDemMês \times fatorSazonalidadeSemana(dia)}{NúmeroDiasMês}$$

Equação 4-6: Cálculo da demanda diária

Os fatores de sazonalidade do mês corrente e do dia da semana foram determinados previamente, com base em estudos realizados anteriormente na Petrobras, tendo como referência registros de movimentações históricas do sistema.

### **Geração da demanda no mercado local dos terminais do OSBRA**

As demandas dos mercados atendidos pelos terminais do OSBRA foram calculadas considerando os mesmos critérios e fórmulas descritas para o mercado da REPLAN.

#### **4.1.5 Parâmetros de Entrada**

Os parâmetros que impactam na configuração dos cenários e os recursos sobre os quais é possível intervir são os seguintes:

- Número de tanques e esferas: capacidade, vazão de entrada e saída por produto na refinaria e nos terminais;
- Produção anual prevista;
- Tempo de certificação dos produtos e processo para separação da mistura selo / GLP;
- Horário de funcionamento das baias de carregamento em Uberaba;
- Horário de funcionamento para envio de produtos por ramais aos clientes em cada terminal;
- Vazões de bombeamento no OSBRA, considerando os períodos do horário de ponta;
- Demanda anual prevista, coeficiente de variação (desvio padrão), sazonalidade mensal e sazonalidade diária nos terminais e na refinaria;

- Volumes mínimos e máximos das bateladas enviados por produto num período de trinta dias;

#### 4.1.6 Simplificações Internas

As simplificações adotadas são as seguintes:

- A vazão de entrada no poliduto ( $Q_e$ ) é igual ao somatório das vazões de saída ( $\sum Q_s$ );

$$Q_e = \sum Q_s$$

Equação 4-7: Equilíbrio entre as vazões de entrada e saída do duto

- Após os pontos de sangria, as vazões de escoamento são alteradas:

$$Q'_1 = Q_1 - Q_{s1}$$

Equação 4-8: Vazões no duto num ponto de sangria

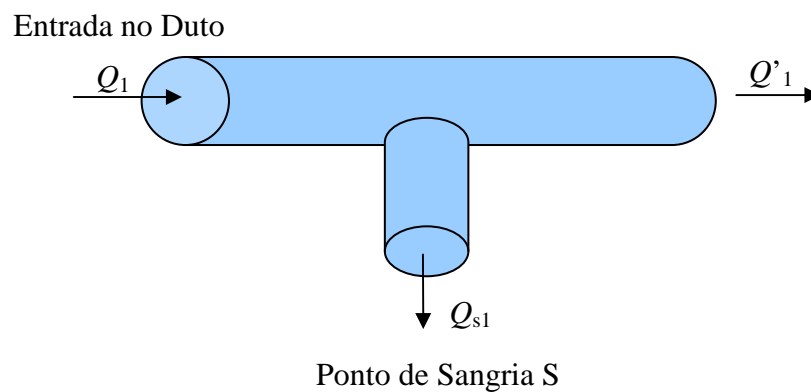


Figura 4-1: Esquema do duto representando as vazões num ponto de sangria

- A seção transversal do duto é plenamente ocupada;
- As vazões de bombeio na admissão não variam com o produto;



- A geração de interface corresponde a um volume fixo da batelada;
- Os processos de certificação dos produtos nos tanques da refinaria e dos terminais do OSBRA não consomem recursos e são representados através da manutenção dos produtos parados nos tanques por tempos pré-determinados. Durante estes tempos de certificação as operações de entrada e saída dos produtos nos tanques são bloqueadas;
- O tratamento da interface entre GLP, selo e gasolina para separação dos produtos será representado por um tempo (delay) no processo de liberação das esferas de armazenamento final de GLP.
- Caso não existam novas demandas e pedidos pendentes, o duto pára de receber produto da REPLAN;

## **4.2 MODELO COMPUTACIONAL**

A tradução do modelo conceitual para o modelo computacional pode ser realizada com a ajuda de um software comercial ou através do desenvolvimento de um código próprio de simulação.

Considerando a complexidade da cadeia logística estudada, o desenvolvimento de um código próprio iria aumentar consideravelmente o tempo para conclusão do trabalho e foi descartada. Por outro lado, as ferramentas comerciais disponíveis no mercado, como por exemplo, Promodel, FlexSim, Arena, ExtendSim, Simul8 e Simio apresentam vários recursos que facilitam a construção, depuração de erros, execução dos modelos e as análises dos resultados e ainda reduzem o tempo de desenvolvimento.

Os softwares avaliados atenderam aos requisitos técnicos quanto a facilidades para entrada de dados, desenvolvimento do modelo, saída de dados, depuração dos erros e execução. Porém, o software Arena versão 12.0 apresentou maior disponibilidade de uso e de acesso à versão completa e foi selecionado.

Além do software de simulação, também foram utilizados dois arquivos do software comercial Microsoft Office Excel 2003, sendo um como interface para entrada e outro como interface para saída dos dados.

O arquivo Excel utilizado como interface de entrada é organizado em tabelas. Cada tabela agrupa informações visando facilitar a entrada dos dados e a configuração dos cenários. Estes agrupamentos consideram informações relativas à produção, demandas, sazonalidades, vazões, tanques, bateladas e características de funcionamento dos terminais.

O código desenvolvido no Arena ao iniciar a simulação do sistema faz uma leitura dos dados armazenados nas planilhas do arquivo de interface de entrada, estes dados configuram variáveis e parâmetros para execução de instruções internas e simulação dos processos.

Dados diários referentes à produção, demandas, estoques e vendas são armazenados em vetores e matrizes durante a execução do modelo. Ao término de cada corrida, os dados armazenados são exportados para as planilhas do arquivo de interface de saída.

O arquivo de interface de saída é organizado em três grupos de planilhas. O primeiro grupo recebe e organiza os dados exportados do simulador. O segundo grupo consolida os dados e calcula os indicadores que permitem avaliar o desempenho do sistema na corrida realizada. O terceiro grupo traça gráficos onde é possível avaliar o comportamento do estoque de cada produto em cada terminal ao longo do tempo.

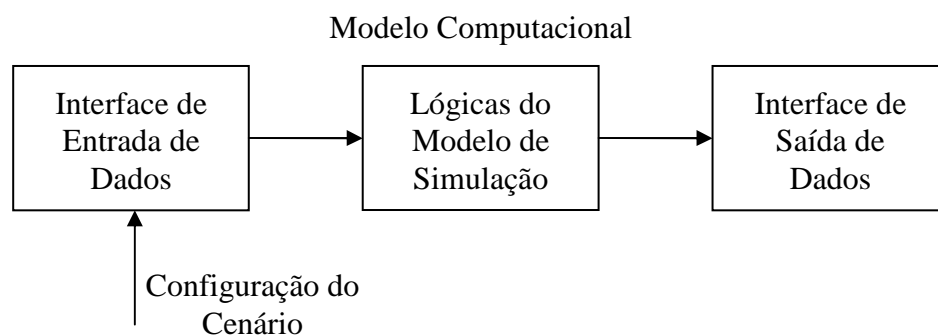


Figura 4-2: Fluxo de dados do modelo

A figura 4-2 mostra o fluxo dos dados para configuração dos cenários e a execução do modelo. A interface de entrada de dados e as lógicas de simulação são detalhadas nos itens 4.2.1 e 4.2.2 a seguir. A interface de saída de dados será utilizada para apresentação dos resultados no capítulo cinco.

#### 4.2.1 Interface de Entrada de Dados

A interface de entrada é organizada em tabelas para facilitar os ajustes dos parâmetros e a configuração dos cenários. O ajuste do conjunto de tabelas determina o cenário para simulação. Abaixo são apresentadas as tabelas utilizadas:

- Produção anual na refinaria – Na coluna “Produção Anual” são inseridos os dados referentes a previsão da produção anual de cada produto na REPLAN. A coluna “Produção média diária” apresenta o cálculo automático dividindo a produção anual pelo número de dias do ano;

Refinaria	Produto	Produção Anual (m <sup>3</sup> )	Produção média diária (m <sup>3</sup> )
REPLAN	Diesel 0,0010% S	7,240,894	19,784
	Diesel 0,05% S	8,451,831	23,092

Tabela 4-3: Interface de entrada - Produção na refinaria

- Demanda anual nos terminais e na região da refinaria – Na coluna Volume (m<sup>3</sup>) são inseridas as demandas anuais previstas por produto em cada mercado consumidor (Tabela 4-4);

Local	Produto	Volume (m <sup>3</sup> )
Paulínia	Diesel 0,0010% S	4,071,550
	Diesel 0,05% S	3,102,729
	Gases	2,469,813
	Gasolina Regular 0,005% S	2,027,843
Ribeirão Preto	Diesel 0,0010% S	725,347
	Diesel 0,05% S	1,035,300
	Gases	-
	Gasolina Regular 0,005% S	245,703

Tabela 4-4: Interface de entrada - Demanda dos mercados

- Desvio padrão (coeficiente de variação) nos terminais e na refinaria – O desvio padrão de cada produto em cada mercado consumidor são inseridos na tabela 4-5 apresentada na seqüência abaixo;

Local	Produto	Desvio Padrão
Uberlândia	Diesel 0,0010% S	6.6%
	Diesel 0,05% S	6.6%
	Gases	0.0%
	Gasolina Regular 0,005% S	2.9%
Goiânia	Diesel 0,0010% S	14.8%
	Diesel 0,05% S	14.8%
	Gases	0.0%
	Gasolina Regular 0,005% S	2.8%

Tabela 4-5: Interface de entrada - Desvio padrão por produto em cada mercado

- Os fatores de sazonalidade mensal nos terminais e na refinaria são inseridos através da tabela 4-6 apresentada na seqüência abaixo;

Local	Produto	1	2	3	...	12
Paulínia	Diesel 0,0010% S	0.77	0.82	1.00	...	0.89
	Diesel 0,05% S	0.77	0.82	1.00	...	0.89
	Gases	0.83	0.83	1.02	...	0.89
	Gasolina Regular 0,005% S	0.96	0.90	0.99	...	1.09
Ribeirão Preto	Diesel 0,0010% S	0.61	0.66	0.85	...	0.76
	Diesel 0,05% S	0.61	0.66	0.85	...	0.76
	Gases	1.00	1.00	1.00	...	1.00
	Gasolina Regular 0,005% S	0.98	0.91	1.01	...	1.07

Tabela 4-6: Interface de entrada - Fator de sazonalidade mensal por produto

- Sazonalidade semanal nos terminais e na refinaria - Na tabela 7-7 são inseridos os fatores de sazonalidade semanais calculados com base em dados históricos para cada produto e mercado consumidor;

Local	Produto	1	2	3	4	5	6	7
REPLAN	Diesel 0,0010% S	0.72	0.72	1.01	1.13	1.12	1.15	1.15
	Diesel 0,05% S	0.72	0.72	1.01	1.13	1.12	1.15	1.15
	Gases	0.57	0.95	1.11	1.12	1.08	1.11	1.06
	Gasolina Regular 0,005% S	0.77	0.51	1.03	1.15	1.14	1.27	1.13
Ribeirão Preto	Diesel 0,0010% S	-	1.50	1.33	1.32	1.27	1.38	0.20
	Diesel 0,05% S	-	1.50	1.33	1.32	1.27	1.38	0.20
	Gases	-	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
	Gasolina Regular 0,005% S	-	1.74	1.21	1.30	1.22	1.45	0.08
Uberaba	Diesel 0,0010% S	0.00	1.36	1.23	1.26	1.30	1.72	0.13
	Diesel 0,05% S	0.00	1.36	1.23	1.26	1.30	1.72	0.13
	Gases	-	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
	Gasolina Regular 0,005% S	0.00	1.20	1.17	1.23	1.41	1.88	0.11

Tabela 4-7: Interface de entrada - Fator de sazonalidade diária por produto

- Tanques nos terminais e na refinaria – Em cada terminal é possível configurar o parque de tanques, informando para cada tanque o produto, a capacidade em m3, o tempo de certificação e o estoque inicial, conforme exemplo apresentado na tabela 4-8;

Local	Tanque	Capacidade (m3)	Tempo Homog./ Certificação (h)	Estoque Inicial	Pos. Produto
R. Preto	R. PretoTq1	11,400	10	11,400	Sem produto ▼
	R. PretoTq2	11,400	10	-	Diesel 0,0010% S ▼
	R. PretoTq3	8,300	10	8,300	Gasolina Regular 0,005% S ▼
	R. PretoTq4	8,300	10	-	Gasolina Regular 0,005% S ▼
	R. PretoTq5	3,184	10	-	Gases ▼
	R. PretoTq6	3,183	10	3,183	Gases ▼
	R. PretoTq7	8,000	10	-	Sem produto ▼
	R. PretoTq8	8,000	10	8,000	Sem produto ▼
	R. PretoTq9	4,943	10	-	Sem produto ▼
	R. PretoTq10	4,943	10	-	Gasolina Regular 0,005% S ▼
	R. PretoTq11	6,000	10	-	Sem produto ▼
	R. PretoTq12	10,000	10	5,000	Sem produto ▼
Uberaba	UberabaTq1	8,287	10	-	Diesel 0,05% S ▼
	UberabaTq2	8,487	10	-	Diesel 0,0010% S ▼
	UberabaTq3	4,032	10	4,032	Gasolina Regular 0,005% S ▼
	UberabaTq4	4,034	10	-	Diesel 0,0010% S ▼
	UberabaTq5	5,000	10	5,000	Sem produto ▼
	UberabaTq6	5,000	10	-	Sem produto ▼
	UberabaTq7	5,000	10	-	Sem produto ▼
	UberabaTq8	5,000	10	-	Sem produto ▼
	UberabaTq9	5,000	10	-	Sem produto ▼

Tabela 4-8: Interface de entrada - Tanques por produto e terminal

- Para inserir as vazões de bombeamento na refinaria e de sangria nos terminais são necessárias duas tabelas, uma para o período fora do horário de ponta com vazões mais altas e outra para dentro do horário de ponta com vazões mais baixas.

A utilização de duas tabelas permite considerar as restrições energéticas nos horários de maior demanda do sistema nacional de abastecimento de energia elétrica (horário de ponta). Durante intervalos fixos de horas, em dias pré-definidos da semana, a energia elétrica disponível é reduzida e são aplicadas tarifas diferenciadas (horosazonais), levando a redução das vazões.

Na tabela 4-9, a coluna “Entrada – OSBRA1” indica as vazões com que os produtos são bombeados na refinaria e entram no OSBRA1, já as colunas RIB, UBB, UBL, GOI e BRA apresentam as vazões com que os produtos são retirados do OSBRA e enviados para os tanques dos terminais.

Para facilitar a leitura, a coluna “Condição de recebimento” indica a combinação de terminais em operação, por exemplo, na linha 2 a combinação 1-0-0-1-0 indica que apenas os terminais de Ribeirão Preto (RIB) e Goiânia (GOI) estão em operação e as suas vazões de sangria são respectivamente 450 m<sup>3</sup> e 706 m<sup>3</sup>. Cabe lembrar que o terminal de Goiânia sempre estará em operação quando o sistema estiver em funcionamento.

	Condição de recebimento	Vazão fora do horário de ponta em m <sup>3</sup> /hora					
		Entrada	Sangria				
		OSBRA1	RIB	UBB	UBL	GOI	BRA
1	0-0-0-1-0	708	0	0	0	708	0
2	1-0-0-1-0	1,156	450	0	0	706	0
3	0-1-0-1-0	1,086	0	450	0	636	0
4	0-0-1-1-0	1,010	0	0	450	560	0
5	1-1-0-1-0	1,155	305	305	0	545	0
6	1-0-1-1-0	1,155	305	0	305	545	0
7	0-1-1-1-0	1,079	0	265	265	549	0
8	1-1-1-1-0	1,155	205	205	205	540	0

Tabela 4-9: Interface de entrada - Vazões de bombeamento e sangria sem hora

- Através da tabela 4-10, apresentada abaixo, é possível configurar o número de ciclos de cada produto, o tamanho máximo e o tamanho mínimo de cada batelada;

Produto	Vol. Batelada Máxima (m <sup>3</sup> )	Vol. Batelada Mínima (m <sup>3</sup> )	Ciclos
Diesel 0,0010% S	70,000	1,750	6
Diesel 0,05% S	120,000	1,750	6

Tabela 4-10: Interface de entrada - Ciclos e tamanho mínimo e máximo das bateladas

- Através da tabela 4-11 é possível configurar os horários e os dias em que os terminais entregam seus produtos para os clientes;

Terminal	Dia da semana	Funciona 1- Sim/ 0- Não	Abertura (h)	Fechamento (h)
R. Preto	Domingo	1	0	24
	Segunda-feira	1	0	24
	Terça-feira	1	0	24
	Quarta-feira	1	0	24
	Quinta-feira	1	0	24
	Sexta-feira	1	0	24
	Sábado	1	0	24
Uberaba	Domingo	1	6	22
	Segunda-feira	1	6	22
	Terça-feira	1	6	22
	Quarta-feira	1	6	22
	Quinta-feira	1	6	22
	Sexta-feira	1	6	22
	Sábado	1	6	22

Tabela 4-11: Interface de entrada - Horário de funcionamento dos terminais

- As configurações das baias de carregamento rodoviário do terminal de Uberaba são realizadas através da tabela 4-13 apresentada abaixo.

Bico	Ilha 1		Ilha 2		Ilha 3		Ilha 4		Ilha 5	
1	D10 ▼	ESP	D10 ▼	ESP	D10 ▼	ESP	▼	0	▼	0
2	D500 ▼	ALC	D500 ▼	ALC	D500 ▼	ALC	▼	0	▼	0
3	GAS ▼	OUT	GAS ▼	OUT	GAS ▼	OUT	▼	0	▼	0

Tabela 4-12: Interface de entrada - Configuração do carregamento rodoviário

### 4.2.2 Lógicas de Simulação

Para construção do modelo computacional foram utilizados os recursos disponíveis na ferramenta Arena versão 12.0. Blocos configuráveis, com funções pré-definidas, são interligados sequencialmente para reprodução das lógicas dos processos. As seqüências são percorridas por entidades que disparam as funções e atualizam seus atributos e variáveis globais, ou seja, a movimentação das entidades através dos blocos determina a execução da seqüência de instruções e a mudança de estado do modelo.

Além dos blocos, foram utilizados módulos pré-definidos que facilitam a criação e a utilização de recursos do tipo tanque e válvula em vários pontos do código. Com estes módulos foram criados todos os tanques do sistema e duas válvulas de controle para cada tanque, uma de entrada e outra de saída dos produtos.

Para utilização dos tanques, blocos com a função de alocar (reservar o recurso), configurar as válvulas, encher ou esvaziar os tanques e liberar as válvulas foram configurados em seqüência.

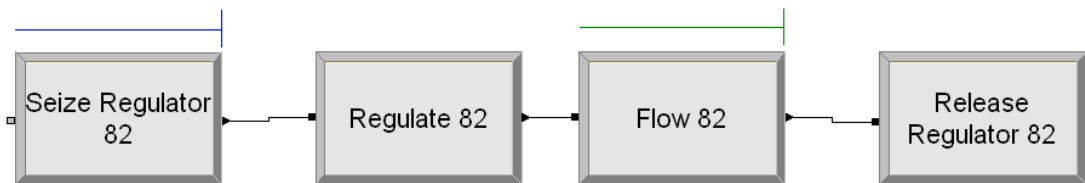


Figura 4-3: Seqüência lógica de blocos para utilização dos recursos tanque

As lógicas de controle e as lógicas de representação dos processos foram estruturadas em sub-rotinas para organizar e simplificar a execução de rotinas recursivas e facilitar a identificação e a resolução de problemas. Cada sub-rotina possui objetivos bem definidos conforme descrito na tabela 4-13.

Sub-rotinas	Resumo
Inicialização	Leitura dos dados do arquivo de entrada e inicialização de variáveis.
Controle de funcionamento	Controla o ciclo horário de funcionamento dos terminais.
Produção	Geração de produtos na refinaria.



Armazenamento na Refinaria	Transferência da produção p/ os tanques de armazenagem da refinaria.
Geração da demanda	Geração das demandas diárias nos terminais e no mercado atendido diretamente pela refinaria.
Atendimento da demanda	Envio dos produtos para os clientes.
Dimensionamento das bateladas	Verificação das demandas mensais futuras nos terminais e dimensionamento das bateladas
Seqüenciamento das bateladas	Ordenação das bateladas dentro dos ciclos de envio dos produtos
Movimentação no OSBRA	Controla a movimentação dos produtos dentro do OSBRA.
Consolida volumes diários	Totaliza as variáveis e consolida os volumes movimentados diariamente..
Exporta dados	Exporta dados para o relatório de saída.

Tabela 4-13: Sub-rotinas da lógica de simulação

A figura 4-4 mostra a freqüência e de dependência entre as sub-rotinas no início da execução do código de simulação.

Na figura é possível verificar que as sub-rotinas de Controle de Funcionamento, Produção, Geração da Demanda e Dimensionamento das Bateladas somente são executadas após o término da sub-rotina Inicialização. Porém, passado o momento inicial da lógica, as mesmas sub-rotinas voltam a ser executadas, conforme a freqüência pré-definida, sem que a sub-rotina Inicialização tenha que ser executada novamente.

A sub-rotina Movimentação no OSBRA é dependente da sub-rotina Seqüenciamento da Batelada e permanece em execução em quanto houver alguma batelada não enviada. O mesmo comportamento é acontece com as sub-rotinas Armazenamento na Refinaria e Atendimento da Demanda.

Apenas ao final do tempo de simulação, quando todas as outras sub-rotinas já estiverem finalizadas, a sub-rotina Exporta Dados é executada e finaliza a simulação.

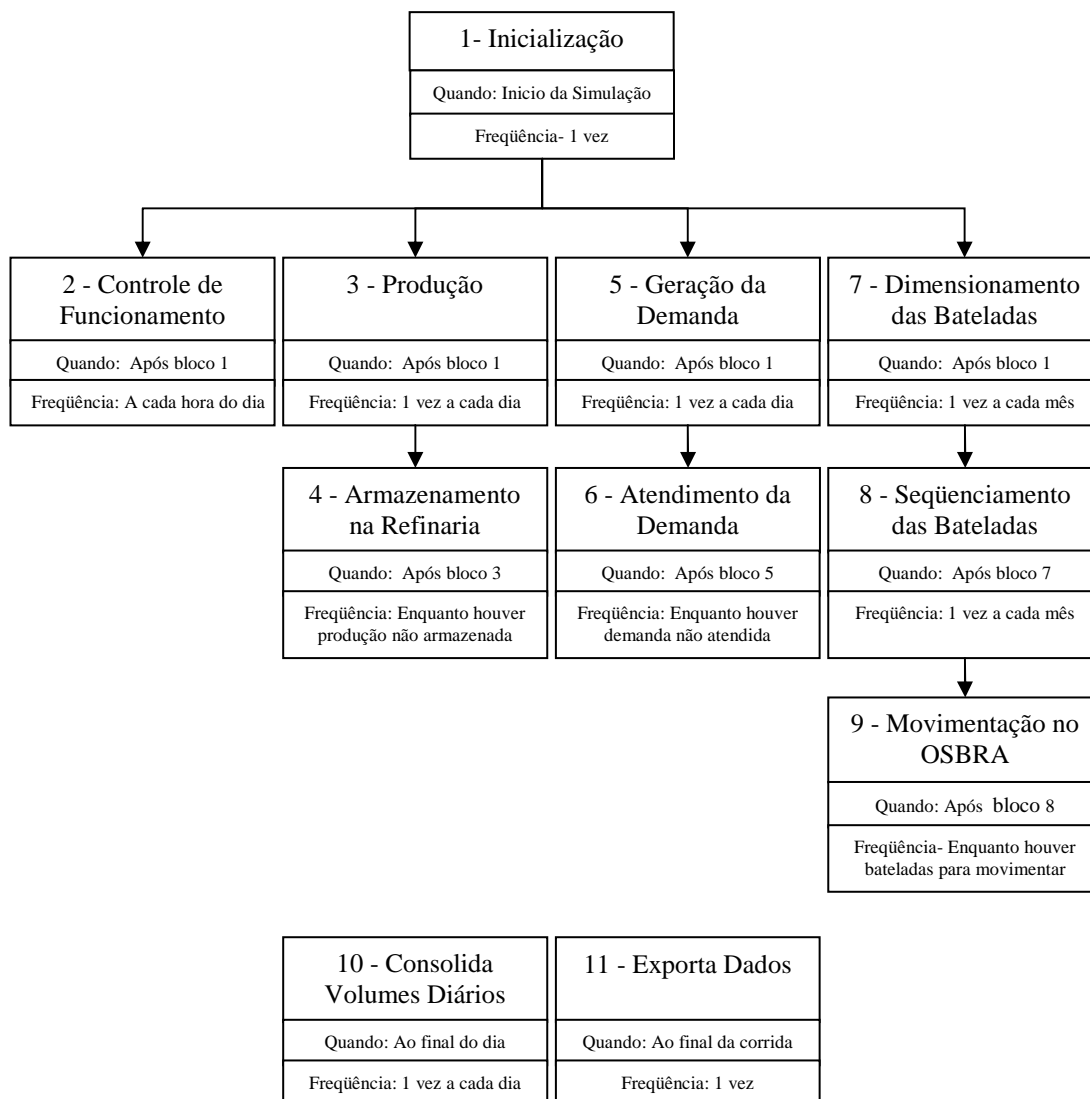


Figura 4-4: Frequência e dependência entre sub-rotinas

A seguir será apresentada a descrição de cada sub-rotina e ilustrações de algumas partes da lógica. As ilustrações possuem apenas o objetivo de indicar as seqüências de blocos utilizadas para sua construção.

## INICIALIZAÇÃO

A sub-rotina de inicialização é executada apenas no início de cada corrida. Seu código é responsável pela leitura de todos os parâmetros do arquivo de entrada de dados e pela inicialização das variáveis que definem os produtos, as capacidades e os volumes iniciais de cada tanque.

# Leitura do arquivo Entrada

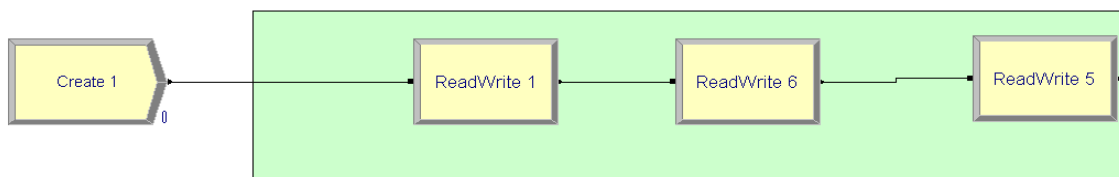


Figura 4-5: Parte do esquema da lógica de inicialização

## CONTROLE DE FUNCIONAMENTO

Considerando que os horários de funcionamento são diferentes, foi necessário criar uma seqüência lógica de controle para cada terminal. Nestas seqüências, a variável de controle *statusTerminal\_NomedoTerminal* muda o estado de 0 para 1 durante o intervalo de tempo em que o terminal estiver em funcionamento.

A cada dia, no tempo da simulação, é gerada uma entidade que verifica se o terminal deve funcionar naquele dia da semana, conforme parâmetros de entrada. Se o terminal funcionar no dia verificado, a entidade aguarda o horário de abertura do terminal para mudar o estado da variável de controle para 1. Após o avanço do relógio, ao término do horário de funcionamento o estado da variável muda novamente para 0. Nos dias em que o terminal não funciona a entidade é imediatamente descartada.

Ainda na sub-rotina de Controle de funcionamento é realizada a seleção das vazões dentro e fora do horário de ponta. A cada hora do tempo de simulação é gerada uma entidade que verifica se a hora corrente está dentro ou fora do horário de ponta. Se estiver, a variável de controle *vVazaoSaidaDiesel\_Nome do Terminal* muda de estado indicando nova posição de leitura na tabela onde estão armazenadas as vazões de movimentação do OSBRA.

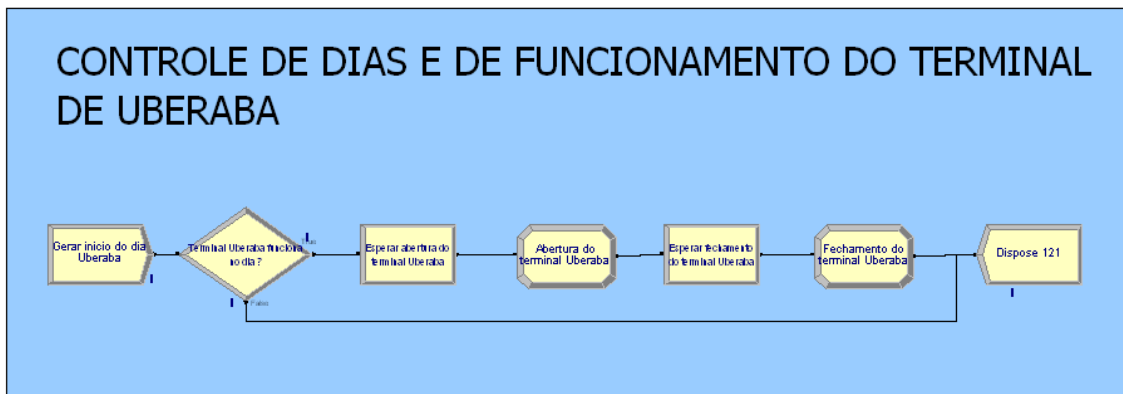


Figura 4-6: Esquema da lógica de controle do horário de funcionamento

## PRODUÇÃO

Conforme descrito anteriormente, os processos produtivos dos derivados de petróleo não foram reproduzidos. A seqüência lógica da sub-rotina Produção gera os valores com base na distribuição estatística de dados históricos.

Diariamente é criada uma entidade que, para cada produto, calcula a produção mensal com base na produção anual. Considerando que o coeficiente de variação adotado para a produção neste trabalho é zero, o volume produzido naquele dia será a relação entre o volume mensal e o número de dias do mês corrente.

O volume diário é acumulado no vetor *ProdAcum\_REPLAN(produto)*, onde cada posição do vetor faz referência a um produto diferente. Em seguida, são calculados o estoque do produto na refinaria e o número de dias que o estoque é capaz de atender, considerando a demanda média diária. Se o estoque existente não for capaz de atender até três dias de demanda, número de dias pré-definido dentro do código, a entidade é duplicada e uma cópia enviada para a sub-rotina “Armazenamento na refinaria”, onde o volume do produto é acumulado nos tanques da refinaria. Finalmente, a entidade original retorna para o início da lógica e repete o ciclo até que a produção diária de todos os combustíveis seja concluída.

## ARMAZENAMENTO NA REFINARIA

A sub-rotina Armazenamento na Refinaria inicia com a entidade da sub-rotina Produção. A lógica procura um tanque com espaço disponível para receber o produto (estado 1 descrito no modelo computacional) e aloca a sua válvula para uso. Se o

volume acumulado no vetor for maior do que a disponibilidade do tanque encontrado, a entidade é duplicada e a sua cópia retorna para que um novo tanque com espaço disponível seja encontrado. O volume disponível do tanque é debitado do vetor *ProdAcum\_REPLAN(produto)* e o produto transferido para o tanque. Ao final do processo a entidade, muda o estado do tanque para 3 (Certificando) e aguarda o tempo de certificação do produto. Após este tempo, a entidade muda o estado do tanque para 4 (Aguardando demanda), o produto do tanque é liberado para atendimento da demanda e a entidade é descartada.

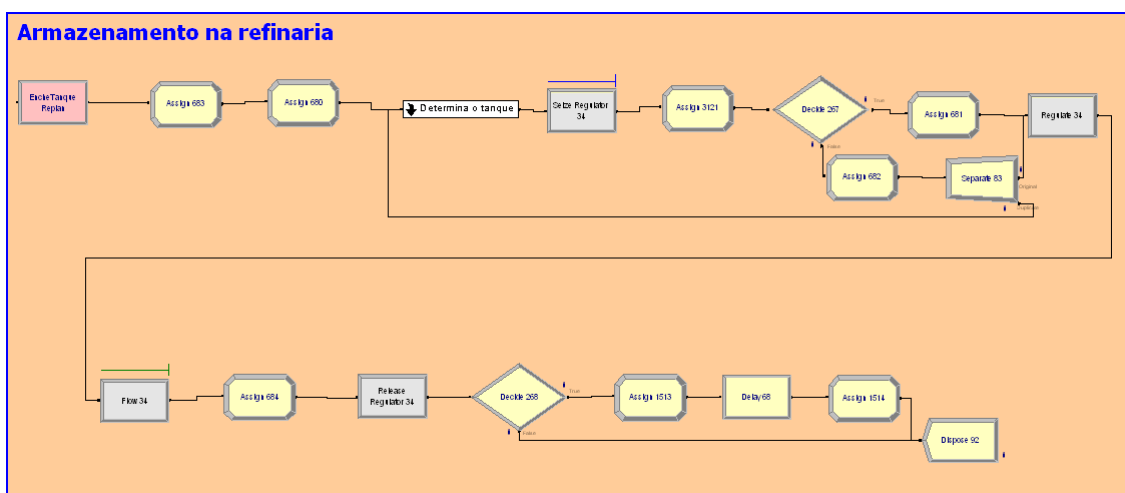


Figura 4-7: Esquema da lógica de Armazenamento dos produtos na refinaria

Para que a seqüência de busca descrita acima encontre um tanque disponível, as seguintes condições devem ser atendidas:

- O tanque selecionado deve ser configurado, através da interface de entrada, para receber o produto especificado;
- O tanque selecionado deve estar no estado 1, ou seja, não pode estar entregando, recebendo ou certificando produto;
- O tanque selecionado deve possuir o maior espaço vazio possível entre os tanques disponíveis.

## GERAÇÃO DA DEMANDA

A lógica de geração da demanda é replicada para todos os mercados consumidores. Assim como na sub-rotina de Produção, as demandas são calculadas com base em dados históricos.

A lógica para geração da demanda difere da lógica de produção apenas pela aplicação dos fatores de sazonalidade. Diariamente é criada uma entidade que, para cada produto, calcula a demanda mensal com base na produção anual e multiplica a média mensal pelo fator de sazonalidade do mês corrente. Uma nova demanda mensal é determinada com a aplicação do coeficiente de variação (desvio padrão - dado de entrada). A demanda do dia será então a relação entre a demanda mensal e o número de dias do mês multiplicado pelo fator de sazonalidade do dia corrente.

A entidade é duplicada e uma cópia enviada para a sub-rotina “Atendimento da demanda, onde o volume do produto será retirado dos tanques. Finalmente, a entidade retorna para o início da lógica e repete o ciclo até que a geração das demandas diárias de todos os produtos seja concluída.

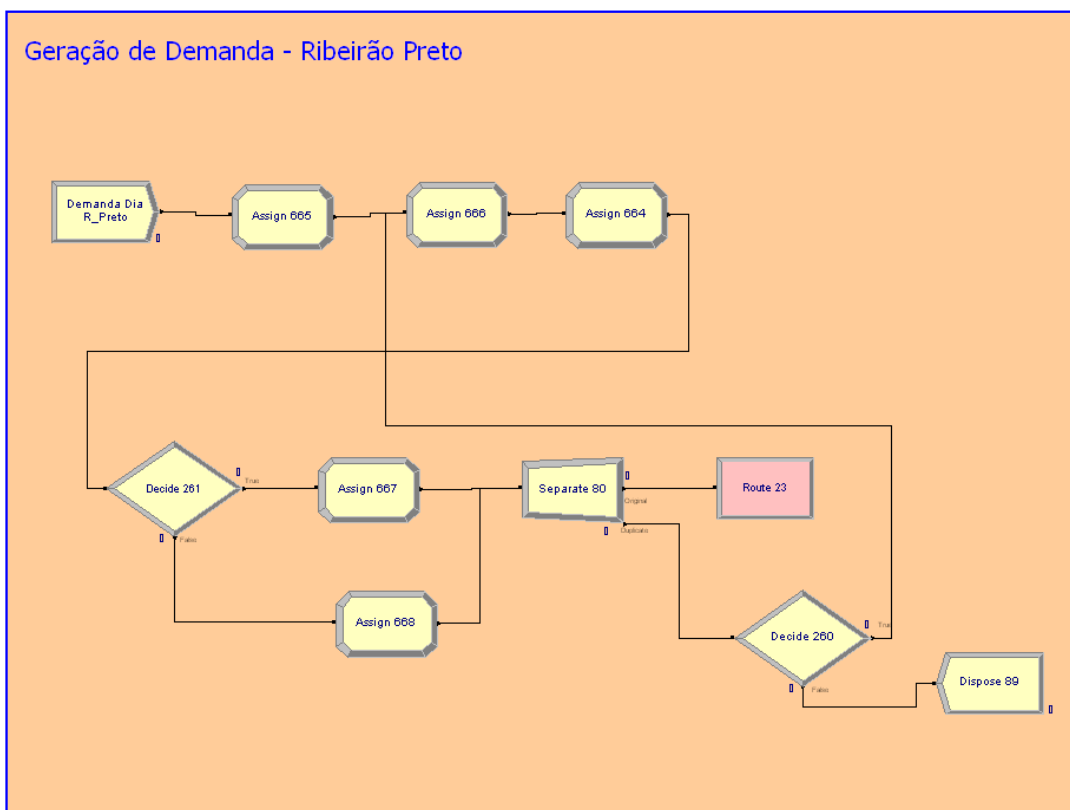


Figura 4-8: Esquema da lógica da geração da demanda no terminal de Ribeirão Preto

## **ATENDIMENTO DA DEMANDA**

A sub-rotina Atendimento da Demanda verifica qual a demanda do dia para cada produto, verifica os estoques disponíveis e retira os produtos dos tanques nas vazões pré-definidas. Para o terminal de Uberaba, onde o atendimento acontece através do modal rodoviário, a sub-rotina inclui a geração, o carregamento e o descarte dos caminhões e difere das sub-rotinas dos outros terminais.

A lógica inicia com a chegada da entidade da sub-rotina Geração da demanda e os seguintes passos são realizados:

- Verifica se o terminal está em operação através do estado da variável de controle *statusTerminal\_NomedeTerminal*. Se não estiver, a entidade aguarda até que seu estado mude para 1;
- O estoque disponível no terminal ou na refinaria é calculado;
- Verifica se a demanda é maior do que o estoque disponível. Se for, a entidade é duplicada e a entidade original atenderá apenas o volume disponível. A cópia da entidade aguarda até que o estoque disponível do produto seja maior do que o saldo devedor. Se a demanda não for maior do que o estoque disponível todo o volume demandado é entregue;
- Procura um tanque, no estado 4 (conforme descrito no modelo conceitual);
- Retira o produto do tanque e atualiza o seu estado.

No terminal de Uberlândia, adicionalmente as atividades descritas acima, quando chegam os pedidos, são criadas entidades do tipo caminhão que aguardam a abertura do terminal para iniciar o carregamento dos produtos. A configuração dos caminhões quanto ao tamanho e ao número de compartimentos são sorteadas conforme a configuração do arquivo de entrada.

O tempo de operação de cada caminhão depende do volume, do número de produtos e da baía selecionada para o carregamento. Quando os produtos estão indisponíveis, os caminhões aguardam no terminal, formando uma fila, e são liberados à medida que os produtos são disponibilizados para carregamento.

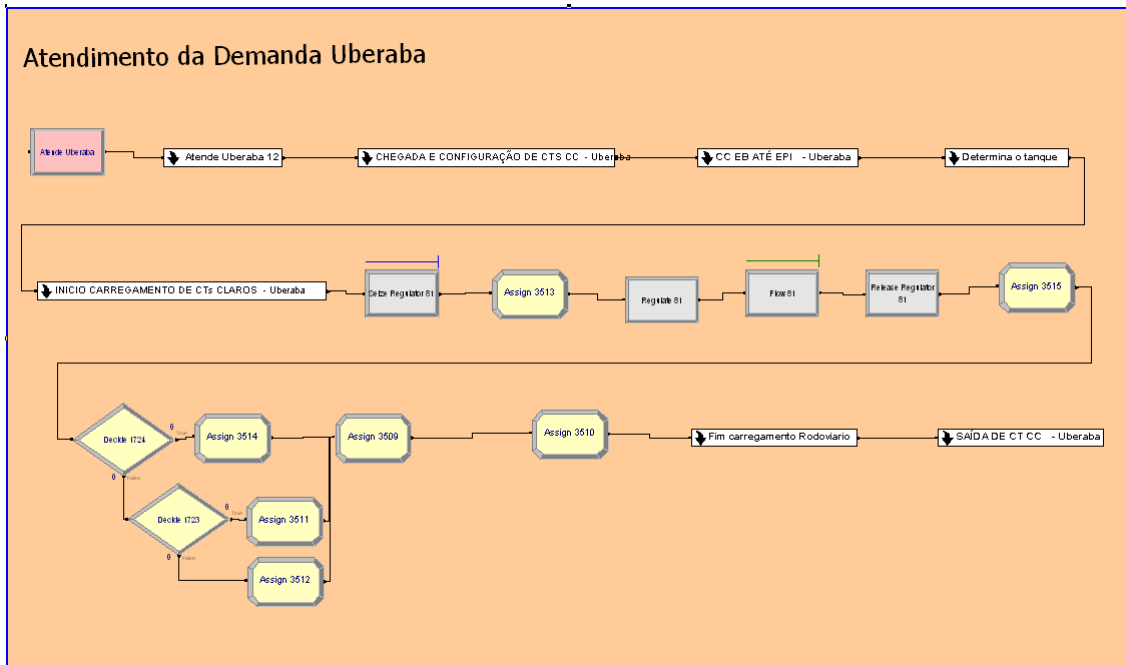


Figura 4-9: Esquema da lógica do atendimento da demanda no terminal de Uberaba

## DIMENSIONAMENTO DAS BATELADAS

Uma vez por mês, esta sub-rotina calcula a demanda total por produtos para o próximo mês. Além da definição dos volumes totais do mês, são definidos os volumes das bateladas e as parcelas destinadas a cada terminal em cada batelada.

Na lógica, para cada produto em cada terminal, foi calculada a demanda média diária, conforme descrito na sub-rotina Geração da demanda, desconsiderando o fator de sazonalidade diário. Em seguida, a demanda diária é multiplicada pelo número de dias do mês e por um fator de segurança para determinar o volume solicitado.

O volume total e o tamanho das bateladas de cada produto são calculados através das seguintes instruções:

- Soma dos pedidos de todos os terminais;



- Cálculo da relação percentual do pedido de cada terminal sobre o volume total calculado;
- Cálculo da relação entre o volume total e número de ciclos pré-definido para determinar o volume das bateladas;
- Se o número de dias do mês corrente for diferente de 30, é necessário aplicar um fator de correção para ajustar o tamanho pré-definido das bateladas mínimas e máximas (valor pré-definido para 30 dias);
- Correção do tamanho das bateladas calculadas quanto aos limites mínimos e máximos permitidos;
- Definição dos volumes destinados para cada terminal nas bateladas, considerando o percentual calculado anteriormente.

## SEQÜENCIAMENTO DAS BATELADAS

Após a definição do número e volumes das bateladas, elas são ordenadas seqüencialmente respeitando o padrão pré-definido (diesel / selo / gasolina / selo / GLP / selo / gasolina / selo / diesel).

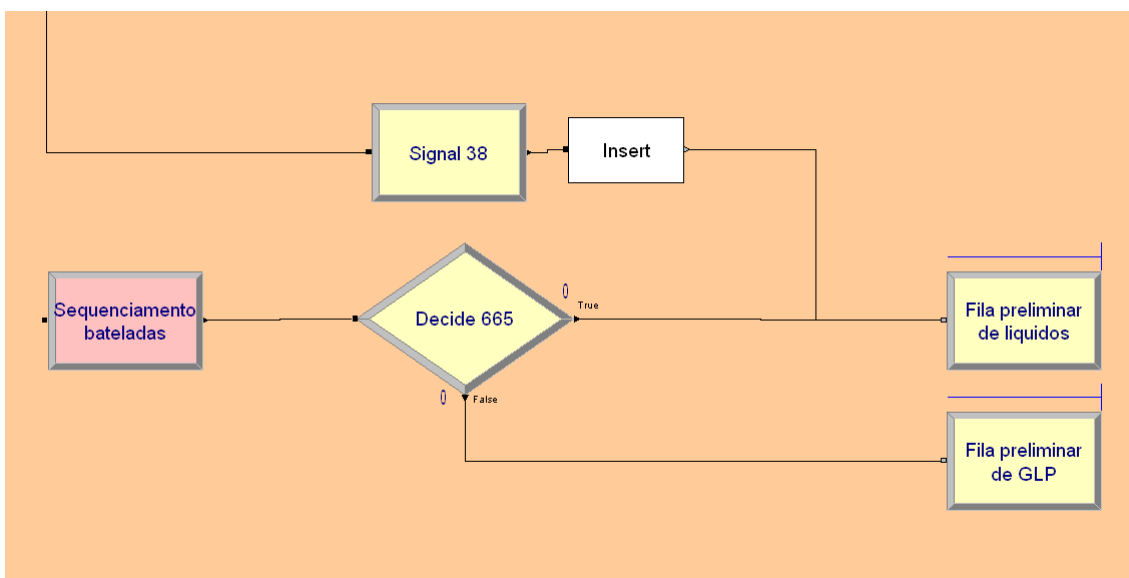


Figura 4-10 Esquema da lógica – blocos utilizados para ordenação das bateladas

Para cada batelada é gerada uma entidade com atributos descrevendo o produto, o volume total e o volume destinado para cada terminal. Na seqüência, as entidades são organizadas e armazenadas em duas filas, uma para líquidos e outra gases. As entidades permanecem na fila até o início da movimentação no OSBRA.

## **MOVIMENTAÇÃO NO OSBRA**

A sub-rotina “Movimentação no OSBRA” é responsável pela retirada dos produtos dos tanques da refinaria, movimentação através do OSBRA e recebimento nos terminais. A seqüência de instruções é a seguinte:

- Retirar as bateladas das filas, considerando que uma batelada de GLP sempre está entre duas bateladas de gasolina;
- Discretizar o volume das bateladas criando múltiplas entidades de 50 m<sup>3</sup>, mantendo todos os seus atributos (volume total, produto, volume para cada destino, etc.) Exemplo: para uma batelada de 10.000 m<sup>3</sup> são geradas 200 entidades de 50 m<sup>3</sup>;
- Inserir as entidades de 50 m<sup>3</sup> no OSBRA, sempre que a soma do volume de todas as entidades existentes dentro do poliduto for menor do que a sua capacidade;
- Sempre que o OSBRA estiver cheio, testar se a entidade mais próxima de cada terminal deve ser retirada ou mover-se para o terminal seguinte;
- Antes que uma entidade seja enviada para o tanque de um terminal, as seguintes condições devem ser satisfeitas:
  - O produto deve ter como um dos destinos o terminal;
  - O terminal ainda não deve ter recebido todo o volume previsto na batelada;
  - O terminal deve possuir tanque disponível para receber o produto;

- Caso o terminal não possua tanque disponível, o modelo verifica se o volume da batelada antes do ponto de sangria é maior do que a quantidade prevista para este terminal. Se for, o modelo verifica se existe espaço no trecho do duto que vai deste até o terminal seguinte e desloca a entidade em sua direção. Se não for, o duto fica parado e a entidade aguarda até que uma das condições acima seja atendida.

É importante ressaltar que a geração de uma grande quantidade de elementos discretos diminui o desempenho do simulador, já a utilização de elementos discretos representando grandes volumes diminui a flexibilidade das movimentações. O valor adotado de 50 m<sup>3</sup> por entidade tenta satisfazer as duas situações.

### **CONSOLIDA VOLUMES DIÁRIOS E EXPORTA DADOS**

A sub-rotina Consolida Volumes Diários armazena em matrizes os volumes movimentados de todos os produtos nos terminais e na refinaria. São atualizados os estoques diários e as quantidades adicionadas e retiradas dos tanques.

Na simulação, o OSBRA inicia vazio e são necessários cerca de quinze dias para que o primeiro produto chegue ao último terminal, Brasília. Após noventa dias de simulação a movimentação já está em regime contínuo e todas as variáveis são zeradas para evitar que o período transitório influencie nos resultados.

Após um ano de operação em regime contínuo, a simulação termina e a sub-rotina Exporta Dados transfere todos os registros das movimentações diárias para o arquivo Excel Interface de Saída. Neste arquivo as informações são tratadas para posterior análise.

#### **4.2.3 Tempo de Simulação e Aquecimento**

A representação e controle do tempo simulado é realizada através do próprio relógio do Arena. Para este controle é necessário definir alguns parâmetros básicos, como o horizonte de tempo ou tamanho da simulação, a data e a hora da simulação, o período de aquecimento e o número de replicações. SOUZA (2008).

Segundo as definições apresentadas por FREITAS FILHO (2001), o sistema estudado neste trabalho caracteriza-se como não-terminal, ou seja, não possui condições iniciais fixas, nem evento que determina o fim do processo de simulação. Este tipo de sistema apresenta dois problemas básicos: o descarte das observações que pertencem ao período transiente, tempo de aquecimento, e o tempo de simulação.

O tempo de aquecimento definido foi de noventa e dois dias, suficiente para eliminar o período transiente, e o tempo de simulação estudado foi de trezentos e sessenta e cinco dias, um ano. Iniciando em 1º de janeiro de 2017 e terminando em 31 de dezembro de 2017.

#### 4.2.4 Número de Replicações

Para se obter uma conclusão sobre o desempenho de um sistema, por meio de resultados de um modelo, é necessário observar o comportamento das variáveis de resposta, na medida da realização de experimentos simulados. Uma vez realizados os experimentos, estima-se o comportamento do sistema Real por um processo de inferência a partir do conjunto de resultados obtidos (FREITAS FILHO 2001).

O processo para determinar o número de replicações é iterativo e aproximado. Uma vez selecionadas as variáveis relacionadas ao desempenho do modelo, executa-se uma corrida preliminar do modelo com  $n$  replicações, calcula-se o intervalo de confiança e se o intervalo de confiança  $h$  estiver além dos limites desejados, calcula-se uma nova estimativa para  $n$ .

A nova estimativa de  $n^*$  é obtida através da equação 4-9 abaixo. Onde  $n^*$  é a nova estimativa para  $n$ ,  $h$  é o semi-intervalo de confiança obtido e  $h^*$  é o semi-intervalo de confiança desejado.

$$n^* = \left( n \left( \frac{h}{h^*} \right)^2 \right)$$

Equação 4-9: Estimativa do número de replicações

O intervalo de confiança adotado para este trabalho é 10% da média amostral da variável de desempenho selecionada, ou seja, 10% do estoque médio dos principais tanques utilizados em cada terminal.

O modelo de validação (Cenário Zero) apresentado no próximo capítulo foi rodado com 2, 4, 8 e 10 replicações e a cada replicação foram verificados as relações  $h$ /média amostral. Com dez replicações, os valores obtidos para as relações semi-intervalo de confiança e média amostral foram inferiores a 10%, determinando o número de replicações desejado.

Os valores encontrados nos experimentos são apresentados na tabela abaixo.

Tanques	2 Replicações	4 Replicações	8 Replicações	10 Replicações
	$h$ /média	$h$ /média	$h$ /média	$h$ /média
R. PretoTq	11.02%	12.91%	8.61%	6.50%
UberabaTq	114.6%	23.56%	11.29%	9.47%
UberlandiaTq	63.87%	15.88%	8.62%	6.80%
GoianiaTq	18.06%	4.53%	4.26%	3.47%
BrasiliaTq	8.79%	6.92%	3.76%	4.55%

Tabela 4-14: Relação  $h$ /média por replicação

## CAPÍTULO V

### 5 CENÁRIOS E RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os cenários simulados e os resultados obtidos. Além disso, são apresentadas as comparações entre resultados com o objetivo de consolidar e validar o trabalho desenvolvido.

Inicialmente foi desenvolvido um cenário para validação do modelo (Cenário de Validação). Neste cenário o sistema foi configurado para movimentar os produtos e as demandas atuais com os recursos já existentes.

Posteriormente foram desenvolvidos sete cenários para avaliar a capacidade futura da rede duto-rodoviária. Nestes cenários o sistema foi submetido ao aumento da demanda e ao aumento do número de produtos da cadeia de suprimentos. A inclusão de mais um produto considera a substituição do diesel utilizado atualmente, com 0,18% de enxofre (S), por dois novos grades de diesel para atender às novas restrições ambientais, diesel 0,0010% S e diesel 0,050% S.

O Cenário I foi configurado para servir como base de comparações entre os desempenhos obtidos em cada um dos sete cenários. Ele considera as demandas futuras com recursos e procedimentos disponíveis atualmente, ou seja, ele demonstra o que aconteceria se a demanda aumentasse e não fossem realizados investimentos no sistema.

A partir do Cenário II foram incluídas propostas de investimentos em infra-estrutura e/ou alterações em procedimentos operacionais. Estes cenários consideram as propostas isoladas ou algumas combinações entre elas. As propostas abordadas são as seguintes:

- Aumento do número de tanques e da capacidade de armazenamento nos terminais de Ribeirão Preto, Uberaba, Uberlândia, Goiânia e Brasília;
- Aumento das vazões de entrada dos produtos no OSBRA e de sangria para os terminais, aumentando a velocidade de reposição dos estoques;

- Operação pulmão em tempo integral. Esta situação é hipotética e depende de alterações na legislação e avanços tecnológicos. Seu impacto considera que as análises de qualidade dos produtos sejam realizadas através de instrumentos instalados nos dutos e em tempo real, eliminando tempos de homogeneização, coletas e transportes de amostras e as análises laboratoriais, agilizando o processo;
- Alteração do número de ciclos mensais do GLP.

## **5.1 CONSTRUÇÃO DOS CENÁRIOS E RESULTADOS**

Conforme mencionado anteriormente, para preservar a confidencialidade das informações obtidas junto a Petrobras, os números utilizados para configuração dos cenários não são reais, porém guardam coerência entre si e em relação aos valores reais, a fim de permitirem conclusões adequadas sobre o sistema real, o modelo desenvolvido e a aplicabilidade da metodologia proposta.

### **5.1.1 Cenário de Validação**

Conforme mencionado anteriormente, o objetivo deste cenário é validar o modelo através do confronto entre os resultados da movimentação do modelo e os dados históricos de uma movimentação real.

A configuração deste Cenário de Validação considera os recursos de tanques e bombas atuais, a movimentação de dois produtos, um tipo de diesel e um tipo de gasolina, e as demandas reais históricas.

Para efeito de avaliação dos resultados, serão apresentados neste item apenas os resultados obtidos.

## RESULTADOS DO CENÁRIO DE VALIDAÇÃO

O nível de serviço total alcançado em todos os terminais foi superior a noventa por cento e o nível de serviço total do sistema, calculado através da média ponderada pelos volumes movimentados de cada terminal, incluindo a Replan, foi de 97,1 %.

Os níveis de serviço alcançados são os seguintes:

Nível de serviço (acumulado)

Produto	Replan	R. Preto	Uberaba	Uberlândia	Goiânia	Brasília
Diesel 0,05% S	100.0%	91.5%	91.7%	91.1%	93.3%	89.8%
Gases	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Gasolina Regular 0,005% S	100.0%	99.8%	97.4%	93.9%	94.6%	92.0%
Total	<b>100.0%</b>	<b>93.3%</b>	<b>93.2%</b>	<b>91.6%</b>	<b>93.6%</b>	<b>90.8%</b>

Tabela 5-1: Nível de serviço acumulado - Cenário de Validação

A validação dos resultados deve considerar a grande flexibilidade do sistema real que não pode ser retratada no modelo de simulação. No sistema real é possível que os volumes e as vazões sejam alteradas a qualquer momento para atender a variabilidade da demanda. No modelo de simulação, uma vez realizada a previsão dos volumes para o próximo mês, qualquer variação brusca da demanda impacta negativamente no resultado.

Mesmo assim, os resultados obtidos neste cenário são satisfatórios. O atendimento da demanda histórica real demonstra a capacidade de representação de parte da realidade e habilita o modelo para execução de novos cenários.

De forma complementar, foram realizadas reuniões com representantes das equipes de controle e gerenciamento do sistema real para análise e validação do comportamento do modelo ao longo do tempo de simulação. Os ciclos e os perfis das movimentações foram considerados coerentes e validados.

Os resultados obtidos nos dois processos realizados validam o modelo.

### 5.1.2 Cenários de Avaliação da Capacidade Futura

Os próximos cenários, de 1 a 7, têm por objetivo permitir a avaliação da capacidade logística do sistema estudado. Nestes cenários, as configurações referentes à demanda e



produção, incluindo fatores de sazonalidade e desvios, são comuns, as configurações referentes aos recursos e procedimentos operacionais, tais como capacidade de armazenamento, vazões e procedimentos, diferem entre os cenários.

As demandas dos mercados consumidores, inclusive do mercado atendido diretamente pela refinaria (Paulínia), foram projetadas utilizando como base os valores praticados atualmente. No caso do óleo diesel, a soma das demandas futuras dos dois grades do produto (diesel 0,0010% S e diesel 0,05% S) equivale à demanda projetada para o diesel 0,18% S. A tabela 5-2 abaixo apresenta as demandas projetadas.

<b>Local</b>	<b>Produto</b>	<b>Volume (m3)</b>
REPLAN	Diesel 0,0010% S	4,071,550
	Diesel 0,05% S	3,102,729
	Gases	2,469,813
	Gasolina Regular 0,005% S	2,027,843
Ribeirão Preto	Diesel 0,0010% S	725,347
	Diesel 0,05% S	1,035,300
	Gases	-
	Gasolina Regular 0,005% S	245,703
Uberaba	Diesel 0,0010% S	404,276
	Diesel 0,05% S	107,462
	Gases	-
	Gasolina Regular 0,005% S	103,216
Uberlândia	Diesel 0,0010% S	682,752
	Diesel 0,05% S	861,694
	Gases	-
	Gasolina Regular 0,005% S	218,982
Goiânia	Diesel 0,0010% S	1,018,741
	Diesel 0,05% S	2,489,621
	Gases	355,028
	Gasolina Regular 0,005% S	770,130
Brasília	Diesel 0,0010% S	338,228
	Diesel 0,05% S	855,025
	Gases	-
	Gasolina Regular 0,005% S	724,985

Tabela 5-2: Demandas projetadas para os mercados consumidores.

A produção projetada para cada produto na refinaria é igual à soma das demandas projetadas para os mercados consumidores.

<b>Refinaria</b>	<b>Produto</b>	<b>Produção Anual (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Produção média diária (m<sup>3</sup>)</b>
REPLAN	Diesel 0,0010% S	7,240,894	19,784
	Diesel 0,05% S	8,451,831	23,092
	Gases	2,824,841	7,718
	Gasolina Regular 0,005% S	4,090,859	11,177

Tabela 5-3: Volumes projetados para produção na refinaria

Os desvios padrão e os fatores de sazonalidade mensal e diário utilizados para cálculo das demandas dos mercados consumidores são os seguintes.

<b>Local</b>	<b>Produto</b>	<b>Desvio Padrão</b>
Paulínia	Diesel 0,0010% S	1.9%
	Diesel 0,05% S	1.9%
	Gases	5.7%
	Gasolina Regular 0,005% S	9.0%
Ribeirão Preto	Diesel 0,0010% S	7.1%
	Diesel 0,05% S	7.1%
	Gases	0.0%
	Gasolina Regular 0,005% S	2.5%
Uberaba	Diesel 0,0010% S	4.5%
	Diesel 0,05% S	4.5%
	Gases	0.0%
	Gasolina Regular 0,005% S	7.5%
Uberlândia	Diesel 0,0010% S	6.6%
	Diesel 0,05% S	6.6%
	Gases	0.0%
	Gasolina Regular 0,005% S	2.9%
Goiânia	Diesel 0,0010% S	14.8%
	Diesel 0,05% S	14.8%
	Gases	0.0%
	Gasolina Regular 0,005% S	2.8%
Brasília	Diesel 0,0010% S	6.2%
	Diesel 0,05% S	6.2%
	Gases	0.0%
	Gasolina Regular 0,005% S	3.4%

Tabela 5-4: Desvios padrão utilizados

<b>Local</b>	<b>Produto</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
REPLAN	Diesel 0,0010% S	0.72	0.72	1.01	1.13	1.12	1.15	1.15
	Diesel 0,05% S	0.72	0.72	1.01	1.13	1.12	1.15	1.15
	Gases	0.57	0.95	1.11	1.12	1.08	1.11	1.06
	Gasolina Regular 0,005% S	0.77	0.51	1.03	1.15	1.14	1.27	1.13
Ribeirão Preto	Diesel 0,0010% S	-	1.50	1.33	1.32	1.27	1.38	0.20
	Diesel 0,05% S	-	1.50	1.33	1.32	1.27	1.38	0.20
	Gases	-	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
	Gasolina Regular 0,005% S	-	1.74	1.21	1.30	1.22	1.45	0.08
Uberaba	Diesel 0,0010% S	0.00	1.36	1.23	1.26	1.30	1.72	0.13
	Diesel 0,05% S	0.00	1.36	1.23	1.26	1.30	1.72	0.13
	Gases	-	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
	Gasolina Regular 0,005% S	0.00	1.20	1.17	1.23	1.41	1.88	0.11
Uberlândia	Diesel 0,0010% S	0.00	1.56	1.31	1.27	1.25	1.51	0.10
	Diesel 0,05% S	0.00	1.56	1.31	1.27	1.25	1.51	0.10
	Gases	-	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
	Gasolina Regular 0,005% S	0.00	1.51	1.22	1.19	1.29	1.69	0.09
Goiânia	Diesel 0,0010% S	-	1.48	1.46	1.35	1.25	1.36	0.10
	Diesel 0,05% S	-	1.48	1.46	1.35	1.25	1.36	0.10
	Gases	-	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
	Gasolina Regular 0,005% S	0.00	1.39	1.40	1.36	1.31	1.45	0.09
Brasília	Diesel 0,0010% S	0.00	1.55	1.34	1.32	1.32	1.34	0.13
	Diesel 0,05% S	0.00	1.55	1.34	1.32	1.32	1.34	0.13
	Gases	-	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
	Gasolina Regular 0,005% S	0.01	1.55	1.37	1.31	1.25	1.31	0.20

Tabela 5-5: Sazonalidade diária

<b>Local</b>	<b>Produto</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
Paulínia	Diesel 0,0010% S	0.77	0.82	1.00	0.98	1.00	1.04	1.06	1.09	1.11	1.16	1.08	0.89
	Diesel 0,05% S	0.77	0.82	1.00	0.98	1.00	1.04	1.06	1.09	1.11	1.16	1.08	0.89
	Gases	0.83	0.83	1.02	1.04	1.06	1.07	1.04	1.10	1.05	1.07	1.02	0.89
	Gasolina Regular 0,005% S	0.96	0.90	0.99	0.99	1.08	1.07	0.99	0.98	0.98	0.99	0.98	1.09
Ribeirão Preto	Diesel 0,0010% S	0.61	0.66	0.85	0.91	1.11	1.16	1.17	1.23	1.22	1.22	1.11	0.76
	Diesel 0,05% S	0.61	0.66	0.85	0.91	1.11	1.16	1.17	1.23	1.22	1.22	1.11	0.76
	Gases	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Gasolina Regular 0,005% S	0.98	0.91	1.01	0.99	1.06	1.03	0.98	0.98	1.00	1.01	0.99	1.07
Uberaba	Diesel 0,0010% S	0.72	0.78	0.94	1.01	1.06	1.06	1.10	1.18	1.14	1.16	1.04	0.81
	Diesel 0,05% S	0.72	0.78	0.94	1.01	1.06	1.06	1.10	1.18	1.14	1.16	1.04	0.81
	Gases	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Gasolina Regular 0,005% S	0.97	0.92	0.93	0.98	1.02	1.02	1.01	1.01	1.00	1.05	0.97	1.10
Uberlândia	Diesel 0,0010% S	0.78	0.87	1.11	1.00	0.97	1.00	1.05	1.10	1.08	1.16	1.04	0.84
	Diesel 0,05% S	0.78	0.87	1.11	1.00	0.97	1.00	1.05	1.10	1.08	1.16	1.04	0.84
	Gases	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Gasolina Regular 0,005% S	0.97	0.92	0.99	1.01	1.07	1.02	0.99	0.98	0.97	1.03	0.96	1.08
Goiânia	Diesel 0,0010% S	0.84	0.89	1.12	0.98	0.96	0.99	1.04	1.09	1.04	1.15	1.02	0.88
	Diesel 0,05% S	0.84	0.89	1.12	0.98	0.96	0.99	1.04	1.09	1.04	1.15	1.02	0.88
	Gases	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Gasolina Regular 0,005% S	0.97	0.90	1.00	0.99	1.05	1.03	1.01	1.01	1.01	1.02	0.98	1.04
Brasília	Diesel 0,0010% S	0.81	0.80	0.93	1.07	1.06	1.01	1.02	1.11	1.06	1.14	1.03	0.96
	Diesel 0,05% S	0.81	0.80	0.93	1.07	1.06	1.01	1.02	1.11	1.06	1.14	1.03	0.96
	Gases	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Gasolina Regular 0,005% S	0.92	0.91	1.06	1.02	1.04	1.00	1.00	1.00	1.02	1.04	0.95	1.05

Tabela 5-6: Sazonalidade mensal

A base de dados histórica utilizada para levantamento da variabilidade das demandas não possui informações sobre o consumo do GLP nos terminais. Nestes casos foram adotados valores fixos e a demanda diária será constante com coeficiente de variação igual a zero.

O horário de funcionamento dos terminais também é comum para todos os cenários. Nas tabelas 5-5, Sazonalidade diária, e 5-7, Funcionamento dos terminais, verifica-se que os produtos não são entregues aos domingos apesar de estarem disponíveis para funcionamento.

Terminal	Dia da semana	Funciona		Abertura (h)	Fechamento (h)
		1- Sim/	0- Não		
R. Preto	Domingo	1		0	24
	Segunda-feira	1		0	24
	Terça-feira	1		0	24
	Quarta-feira	1		0	24
	Quinta-feira	1		0	24
	Sexta-feira	1		0	24
	Sábado	1		0	24
Uberaba	Domingo	1		6	22
	Segunda-feira	1		6	22
	Terça-feira	1		6	22
	Quarta-feira	1		6	22
	Quinta-feira	1		6	22
	Sexta-feira	1		6	22
	Sábado	1		6	22
Uberlândia	Domingo	1		0	24
	Segunda-feira	1		0	24
	Terça-feira	1		0	24
	Quarta-feira	1		0	24
	Quinta-feira	1		0	24
	Sexta-feira	1		0	24
	Sábado	1		0	24
Goiânia	Domingo	1		0	24
	Segunda-feira	1		0	24
	Terça-feira	1		0	24
	Quarta-feira	1		0	24
	Quinta-feira	1		0	24
	Sexta-feira	1		0	24
	Sábado	1		0	24
Brasília	Domingo	1		0	24
	Segunda-feira	1		0	24
	Terça-feira	1		0	24
	Quarta-feira	1		0	24
	Quinta-feira	1		0	24
	Sexta-feira	1		0	24
	Sábado	1		0	24

Tabela 5-7: Funcionamento dos terminais

Em Uberaba, são utilizados três tipos de caminhões para entrega dos produtos. As capacidades, os números de compartimentos e os percentuais de cada caminhão dentro do número total de caminhões utilizados não variam entre os cenários. As configurações são as seguintes:

<b>Número de Compartimentos</b>	<b>Capacidade Total do Caminhão (m<sup>3</sup>)</b>	<b>% do Número de Caminhões Utilizados</b>
1	30,000	80%
1	35,000	15%
3	30,000	5%

Tabela 5-8: Configuração dos caminhões em Uberaba

### 5.1.2.1 CENÁRIO I

O Cenário I serve de base para comparações e considera apenas o impacto da demanda e do número de produtos futuros para os recursos e procedimentos atualmente utilizados.

A tabela 5-9 apresenta o resumo do número de tanques, a capacidade total de armazenamento e o tempo de certificação por produto configurado em cada terminal:

<b>Local</b>	<b>Produto</b>	<b>Número de Tanques</b>	<b>Capacidade (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tempo de certificação em horas</b>
<b>R. Preto</b>	Diesel 0,0010% S	1	11,400	10
	Diesel 0,05% S	1	11,400	10
	Gasolina Regular 0,005% S	3	21,543	10
<b>Uberaba</b>	Diesel 0,0010% S	2	12,521	10
	Diesel 0,05% S	1	8287	10
	Gasolina Regular 0,005% S	1	4032	10
<b>Uberlândia</b>	Diesel 0,0010% S	1	11652	10
	Diesel 0,05% S	1	11652	10
	Gasolina Regular 0,005% S	2	7,978	10
<b>Goiânia</b>	Diesel 0,0010% S	2	39,001	10
	Diesel 0,05% S	2	45,482	10
	Gasolina Regular 0,005% S	3	23,603	10
	GLP	7	17,752	10
<b>Brasília</b>	Diesel 0,0010% S	1	12,272	10
	Diesel 0,05% S	2	12,272	10
	Gasolina Regular 0,005% S	3	26,758	10

Tabela 5-9: Resumo dos tanques - Cenário I

As vazões e os tamanhos das bateladas são apresentados nas tabelas 5-10, 5-11 e 5-12.

	Condição de recebimento	Vazão fora do horário de ponta em m <sup>3</sup> /hora					
		Entrada	Sangria				
		OSBRA1	RIB	UBB	UBL	GOI	BRA
1	0-0-0-1-0	708	0	0	0	708	0
2	1-0-0-1-0	1,156	450	0	0	706	0
3	0-1-0-1-0	1,086	0	450	0	636	0
4	0-0-1-1-0	1,010	0	0	450	560	0
5	1-1-0-1-0	1,155	305	305	0	545	0
6	1-0-1-1-0	1,155	305	0	305	545	0
7	0-1-1-1-0	1,079	0	265	265	549	0
8	1-1-1-1-0	1,155	205	205	205	540	0
9	0-0-0-1-1	647	0	0	0	350	297
10	1-0-0-1-1	1,097	450	0	0	350	297
11	0-1-0-1-1	1,067	0	438	0	338	291
12	0-0-1-1-1	790	0	0	150	350	290
13	1-1-0-1-1	1,155	305	305	0	250	295
14	1-0-1-1-1	1,146	300	0	300	250	296
15	0-1-1-1-1	1,062	0	260	260	250	292
16	1-1-1-1-1	1,144	200	200	200	250	294

Tabela 5-10: Vazões fora do horário de ponta - Cenário I

	Condição de recebimento	Vazão dentro do horário de ponta em m <sup>3</sup> /hora					
		Entrada	Sangria				
		OSBRA1	RIB	UBB	UBL	GOI	BRA
1	0-0-0-1-0	571	0	0	0	571	0
2	1-0-0-1-0	747	197	0	0	550	0
3	0-1-0-1-0	687	0	145	0	542	0
4	0-0-1-1-0	748	0	0	448	300	0
5	1-1-0-1-0	720	90	90	0	540	0
6	1-0-1-1-0	898	298	0	298	302	0
7	0-1-1-1-0	809	0	254	254	301	0
8	1-1-1-1-0	861	150	150	260	301	0
9	0-0-0-1-1	551	0	0	0	361	190
10	1-0-0-1-1	761	220	0	0	351	190
11	0-1-0-1-1	641	0	100	0	351	190
12	0-0-1-1-1	716	0	0	400	125	191
13	1-1-0-1-1	641	50	50	0	351	190
14	1-0-1-1-1	861	280	0	280	110	191
15	0-1-1-1-1	772	0	230	230	120	192
16	1-1-1-1-1	720	110	60	60	300	190

Tabela 5-11: Vazões dentro do horário de ponta - Cenário I

Produto	Vol. Batelada Máxima (m <sup>3</sup> )	Vol. Batelada Mínima (m <sup>3</sup> )	Ciclos
Diesel 0,0010% S	70,000	1,750	6
Diesel 0,05% S	120,000	1,750	6
Gasolina Regular 0,005% S	45,000	1,750	6
GLP	15,000	1,750	6

Tabela 5-12: Tamanho das bateladas e ciclos - Cenário I

## RESULTADOS DO CENÁRIO I

Nas tabelas abaixo são apresentados os principais indicadores para análise do desempenho do sistema com a configuração proposta neste cenário. As informações referentes ao atendimento do mercado local da REPLAN servem apenas para comparação com os terminais do OSBRA e avaliação do desempenho do modelo.

Na tabela 5-13 são apresentados os níveis de serviço para cada produto em cada terminal. Os valores percentuais são calculados através da relação entre as quantidades dos produtos entregues aos clientes e as quantidades solicitadas. Na última linha de cada coluna, são apresentadas as médias dos terminais ponderadas pelos volumes entregues de cada produto.

Este cenário apresenta uma baixa realização de atendimento aos pedidos em todos os terminais. Os produtos GLP (gases) e diesel 0,05% S obtiveram níveis de serviço próximos a cinquenta por cento nos terminais de Ribeirão Preto, Uberlândia e Goiânia e nenhum produto obteve índice superior a setenta e sete por cento.

Nível de serviço (acumulado)

Produto	Replan	R. Preto	Uberaba	Uberlândia	Goiânia	Brasília
Diesel 0,0010% S	100.0%	63.7%	65.9%	58.1%	71.5%	74.5%
Diesel 0,05% S	100.0%	50.4%	67.6%	38.4%	49.0%	60.5%
Gases	100.2%	0.0%	0.0%	0.0%	37.4%	0.0%
Gasolina Regular 0,005% S	100.0%	67.6%	77.2%	68.3%	69.5%	69.7%
Total	100.0%	58.2%	68.4%	52.4%	58.9%	66.9%

Tabela 5-13: Nível de serviço acumulado - Cenário I



A tabela 5-14 apresenta as médias dos giros mensais dos estoques nos terminais, calculadas através das relações entre as médias mensais dos volumes entregues aos clientes e as capacidades de armazenamento dos terminais.

Giro médio mensal (sobre a capacidade de tancagem)

<b>Produto</b>	<b>Replan</b>	<b>R. Preto</b>	<b>Uberaba</b>	<b>Uberlândia</b>	<b>Goiânia</b>	<b>Brasília</b>
Diesel 0,0010% S	2.0	1.3	2.2	2.1	1.0	1.3
Diesel 0,05% S	2.4	0.3	3.9	1.9	1.8	2.9
Gases	5.6	-	-	-	0.5	-
Gasolina Regular 0,005% S	0.9	0.2	2.0	1.1	1.4	1.1

Tabela 5-14: Giro médio mensal dos estoques - Cenário I

Os estoques médios apresentados na tabela 5-15 são calculados como a média dos estoques diários armazenados nos tanques dos terminais.

Estoque Médio (m3)

<b>Produto</b>	<b>Replan</b>	<b>R. Preto</b>	<b>Uberaba</b>	<b>Uberlândia</b>	<b>Goiânia</b>	<b>Brasília</b>
Diesel 0,0010% S	178,195	1,242	1,959	2,421	4,381	1,534
Diesel 0,05% S	147,173	360	2,499	1,511	9,841	2,899
Gases	28,758	-	-	-	549	-
Gasolina Regular 0,005% S	224,699	331	930	611	2,670	4,220

Tabela 5-15: Estoque médio - Cenário I

Através do gráfico apresentado na figura 5-1 é possível verificar os eventos de *stokout*, falta de produto, ocorridos durante o período de simulação para o diesel 0,0010%, segundo produto de maior movimentação, no terminal de Goiânia.

Os ciclos de enchimento e esvaziamento dos tanques são regulares, porém os intervalos não satisfazem as necessidades do sistema e foram registrados quarenta e cinco eventos de falta de produtos no estoque, o que contribui para o baixo nível de serviço do terminal.

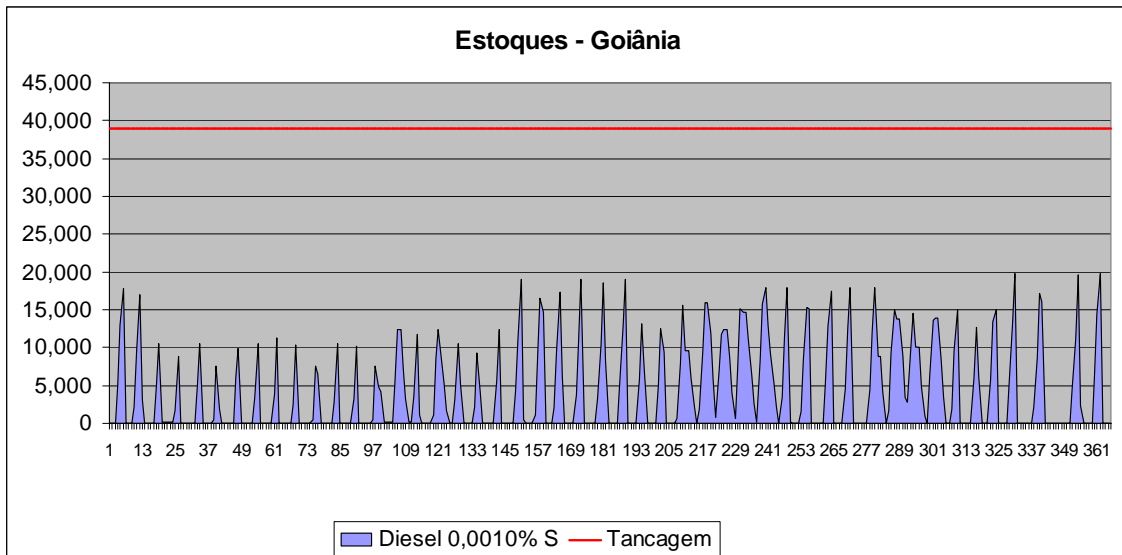


Figura 5-1: Estoque de diesel 0,001% S em Goiânia - Cenário I

A baixa realização do nível de serviço, o giro médio mensal, o estoque médio dos terminais e o número de *stockout* demonstram que a capacidade da instalação atual não atende às demandas previstas neste cenário.

As análises destas informações isoladas não permitem identificar gargalos ou deficiências de infra-estrutura do sistema. O conjunto de informações obtido e a dinâmica dos processos indicam que as alternativas dos próximos cenários para aumentar a velocidade do sistema ou aumentar a capacidade de armazenamento podem melhorar o desempenho do sistema e devem ser testadas.

O mesmo conjunto de informações será extraído de todos os cenários e a análise comparativa entre os resultados deste cenário com os resultados dos próximos cenários irá permitir avaliar a eficácia e a eficiência dos investimentos ou das mudanças de procedimentos.

### 5.1.2.2 CENÁRIO II

No segundo cenário foi considerado o impacto da inclusão de novos tanques para a demanda e o número de produtos definidos no cenário I.

Uma das condições básicas para elevar o nível de serviço do terminal é a disponibilidade dos produtos. Nos locais onde existe apenas um tanque por produto, o abastecimento do mercado fica indisponível durante os tempos de recebimento e certificação. Para minimizar esta situação, foram adicionados novos tanques, satisfazendo a condição de no mínimo dois tanques por produto. A configuração ficou a seguinte:

Local	Produto	Número de Tanques	Capacidade (m3)	Tempo de certificação em horas
<b>R. Preto</b>	Diesel 0,0010% S	2	16,000	10
	Diesel 0,05% S	2	22,800	10
	Gasolina Regular 0,005% S	3	21,543	10
<b>Uberaba</b>	Diesel 0,0010% S	2	10,000	10
	Diesel 0,05% S	2	16,774	10
	Gasolina Regular 0,005% S	2	8,066	10
<b>Uberlândia</b>	Diesel 0,0010% S	2	24,000	10
	Diesel 0,05% S	2	23,304	10
	Gasolina Regular 0,005% S	2	7,978	10
<b>Goiânia</b>	Diesel 0,0010% S	3	44,000	10
	Diesel 0,05% S	3	81,465	10
	Gasolina Regular 0,005% S	4	33,102	10
	GLP	7	17,752	10
<b>Brasília</b>	Diesel 0,0010% S	2	7,718	10
	Diesel 0,05% S	2	24,544	10
	Gasolina Regular 0,005% S	3	26,758	10

Tabela 5-16: Resumo dos tanques - Cenário II

As vazões e as bateladas permanecem as mesmas configuradas no Cenário I.

## RESULTADOS DO CENÁRIO II

O Cenário II manteve uma baixa realização de atendimento aos pedidos em todos os terminais, conforme pode ser verificado na tabela 5-17. O GLP (gases) obteve um nível de serviço próximo a trinta por cento e nenhum produto obteve índice superior a sessenta e três por cento.

Quando comparado ao cenário I, é possível verificar a queda em doze dos dezesseis níveis de serviços dos terminais, porém também é possível verificar o aumento significativo do nível de serviço de diesel 0,05% em Uberlândia e Goiânia.

Considerando que o diesel 0,05% possui a maior demanda do sistema, a sua maior movimentação implica na redução da movimentação dos demais produtos e explica a queda dos níveis de serviço dos outros produtos. Por outro lado, os níveis de serviço total de cada terminal apresentaram ligeira queda, indicando que não houve melhora no desempenho do sistema.

Este comportamento pode ser explicado pelo fato de que o dimensionamento das bateladas considera a maior capacidade de armazenamento dos terminais e tende a aumentar o tamanho das bateladas e aumentando o tempo entre ressuprimentos.

Apesar da maior capacidade de armazenamento, o novo ciclo de movimentações aumenta o número de dias onde não é possível atender a demanda e diminui o nível de serviço do sistema.

Nível de serviço (acumulado)

Produto	Replan	R. Preto	Uberaba	Uberlândia	Goiânia	Brasília
Diesel 0,0010% S	100.0%	56.5%	59.4%	62.5%	62.9%	56.5%
Diesel 0,05% S	100.0%	50.3%	59.9%	55.8%	57.1%	60.3%
Gases	100.1%	0.0%	0.0%	0.0%	32.7%	0.0%
Gasolina Regular 0,005% S	100.0%	59.7%	58.4%	59.6%	57.6%	58.4%
Total	100.0%	53.9%	59.3%	59.0%	57.5%	59.0%

Tabela 5-17: Nível de serviço acumulado - Cenário II

As tabelas 5-17 e 5-18 apresentam os giros mensais e os estoques nos terminais.

Giro médio mensal (sobre a capacidade de tancagem)

Produto	Replan	R. Preto	Uberaba	Uberlândia	Goiânia	Brasília
Diesel 0,0010% S	2.0	0.8	2.0	1.0	0.7	1.3
Diesel 0,05% S	2.4	0.1	1.6	1.2	1.1	1.3
Gases	5.6	-	-	-	0.4	-
Gasolina Regular 0,005% S	0.8	0.1	0.9	0.9	0.7	0.9

Tabela 5-18: Giro médio mensal dos estoques - Cenário II

Estoque Médio (m3)

Produto	Replan	R. Preto	Uberaba	Uberlândia	Goiânia	Brasília
Diesel 0,0010% S	177,642	1,121	1,606	2,878	4,120	962
Diesel 0,05% S	146,835	305	2,610	3,106	15,243	3,394
Gases	28,813	-	-	-	424	-
Gasolina Regular 0,005% S	225,141	286	640	529	2,217	3,043

Tabela 5-19: Estoque médio - Cenário II

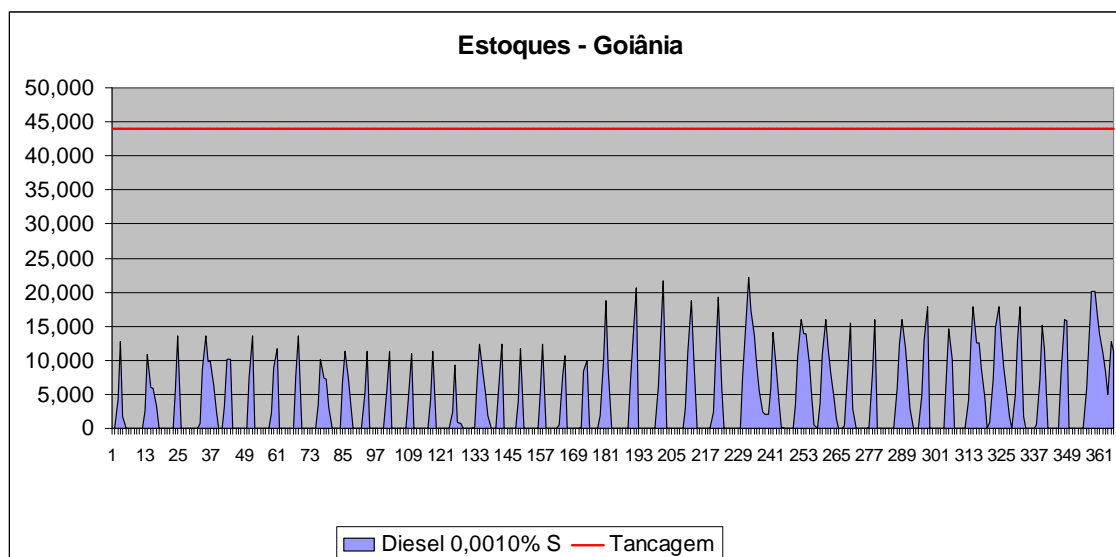


Figura 5-2: Estoque de diesel 0,001% S em Goiânia - Cenário II

Apesar da maior disponibilidade de espaço para armazenamento dos produtos também é possível verificar que a redução do giro e do estoque médio dos terminais provocados pelo aumento do tempo entre ressuprimentos.

### 5.1.2.3 CENÁRIO III

O terceiro cenário considera o aumento das vazões de bombeamento na refinaria e de sangria nos terminais e a mesma configuração dos tanques realizada no cenário I. O aumento da velocidade no deslocamento dos produtos diminui o tempo entre ressuprimentos, melhorando o desempenho do sistema.

O tamanho das bateladas e o número de ciclos permanecem constantes, as demais configurações são as seguintes:

Local	Produto	Número de Tanques	Capacidade (m <sup>3</sup> )	Tempo de certificação em horas
R. Preto	Diesel 0,0010% S	1	11,400	10
	Diesel 0,05% S	1	11,400	10
	Gasolina Regular 0,005% S	3	21,543	10
Uberaba	Diesel 0,0010% S	2	12,521	10
	Diesel 0,05% S	1	8287	10
	Gasolina Regular 0,005% S	1	4032	10
Uberlândia	Diesel 0,0010% S	1	11652	10
	Diesel 0,05% S	1	11652	10
	Gasolina Regular 0,005% S	2	7,978	10
Goiânia	Diesel 0,0010% S	2	39,001	10
	Diesel 0,05% S	2	45,482	10
	Gasolina Regular 0,005% S	3	23,603	10
	GLP	7	17,752	10
Brasília	Diesel 0,0010% S	1	12,272	10
	Diesel 0,05% S	2	12,272	10
	Gasolina Regular 0,005% S	3	26,758	10

Tabela 5-20: Resumo dos tanques - Cenário III

	Condição de recebimento	Vazão fora do horário de ponta em m <sup>3</sup> /hora					
		Entrada	Sangria				
			OSBRA1	RIB	UBB	UBL	GOI
1	0-0-0-1-0	988	0	0	0	988	0
2	1-0-0-1-0	1,460	450	0	0	1,010	0
3	0-1-0-1-0	1,447	0	450	0	997	0
4	0-0-1-1-0	1,447	0	0	450	997	0
5	1-1-0-1-0	1,460	450	450	0	560	0
6	1-0-1-1-0	1,460	450	0	450	560	0
7	0-1-1-1-0	1,447	0	450	450	547	0
8	1-1-1-1-0	1,500	350	350	260	540	0
9	0-0-0-1-1	1,400	0	0	0	800	600
10	1-0-0-1-1	1,400	450	0	0	700	250
11	0-1-0-1-1	1,388	0	438	0	700	250
12	0-0-1-1-1	1,400	0	0	400	700	300
13	1-1-0-1-1	1,450	420	420	0	360	250
14	1-0-1-1-1	1,440	420	0	420	400	200
15	0-1-1-1-1	1,410	0	380	380	400	250
16	1-1-1-1-1	1,500	400	400	200	350	150

Tabela 5-21: Vazões fora do horário de ponta - Cenário III

	Condição de recebimento	Vazão dentro do horário de ponta em m <sup>3</sup> /hora					
		Entrada	Sangria				
			OSBRA1	RIB	UBB	UBL	GOI
1	0-0-0-1-0	797	0	0	0	797	0
2	1-0-0-1-0	944	197	0	0	747	0
3	0-1-0-1-0	915	0	145	0	770	0
4	0-0-1-1-0	1,072	0	0	448	624	0
5	1-1-0-1-0	910	133	133	0	645	0
6	1-0-1-1-0	1,134	440	0	440	255	0
7	0-1-1-1-0	1,085	0	431	431	222	0
8	1-1-1-1-0	1,118	256	256	330	276	0
9	0-0-0-1-1	1,030	0	0	0	769	261
10	1-0-0-1-1	962	220	0	0	466	276
11	0-1-0-1-1	854	0	100	0	458	296
12	0-0-1-1-1	1,027	0	0	533	289	204
13	1-1-0-1-1	810	74	74	0	467	195
14	1-0-1-1-1	1,088	350	0	350	200	188
15	0-1-1-1-1	1,265	0	354	354	327	230
16	1-1-1-1-1	1,073	220	120	60	534	139

Tabela 5-22: Vazões dentro do horário de ponta - Cenário III

## RESULTADOS DO CENÁRIO III

O aumento da vazão melhora o desempenho em todos os terminais. Apesar da melhora, ainda é possível observar níveis de serviço baixos, como por exemplo, diesel 0,05% S em Ribeirão Preto, Uberlândia, Brasília e Goiânia e o GLP em Goiânia.

Nível de serviço (acumulado)

Produto	Replan	R. Preto	Uberaba	Uberlândia	Goiânia	Brasília
Diesel 0,0010% S	100.0%	81.7%	91.1%	72.0%	101.5%	89.8%
Diesel 0,05% S	100.0%	60.2%	87.5%	47.5%	60.0%	71.1%
Gases	100.1%	0.0%	0.0%	0.0%	46.7%	0.0%
Gasolina Regular 0,005% S	100.0%	86.9%	86.3%	85.4%	86.9%	88.9%
Total	100.0%	73.1%	89.7%	65.1%	77.3%	82.2%

Tabela 5-23: Nível de serviço acumulado - Cenário III

Giro médio mensal (sobre a capacidade de tanque)

Produto	Replan	R. Preto	Uberaba	Uberlândia	Goiânia	Brasília
Diesel 0,0010% S	2.3	1.9	3.0	2.7	1.6	1.6
Diesel 0,05% S	2.6	0.4	4.8	2.3	2.3	3.4
Gases	5.7	-	-	-	0.6	-
Gasolina Regular 0,005% S	1.0	0.2	2.9	1.4	1.8	1.5

Tabela 5-24: Giro médio mensal dos estoques - Cenário III

Estoque Médio (m3)

Produto	Replan	R. Preto	Uberaba	Uberlândia	Goiânia	Brasília
Diesel 0,0010% S	176,506	1,630	2,476	2,122	6,657	1,715
Diesel 0,05% S	148,383	388	2,787	1,858	9,962	3,694
Gases	28,708	-	-	-	631	-
Gasolina Regular 0,005% S	224,719	395	1,415	1,055	3,803	6,044

Tabela 5-25: Estoque médio - Cenário III

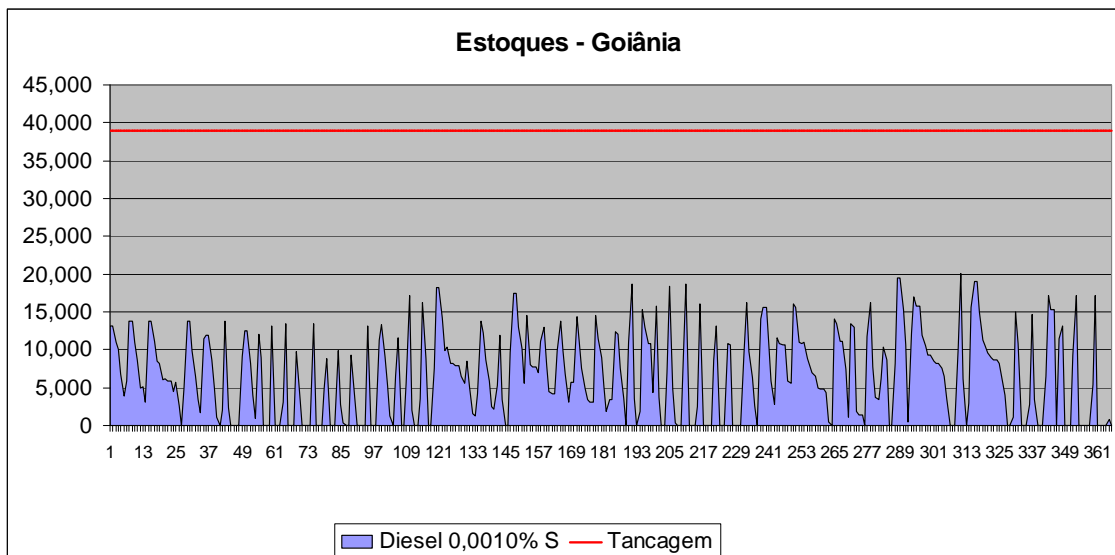


Figura 5-3: Estoque de diesel 0,001% S em Goiânia - Cenário III

No gráfico da figura 5-3 é possível observar que a falta do diesel 0,0010% S em Goiânia ocorre com grande frequência. Apesar das reposições também serem mais frequentes, os pequenos volumes recebidos não garantem o abastecimento ininterrupto do mercado.

#### 5.1.2.4 CENÁRIO IV

O quarto cenário permite avaliar o impacto da operação pulmão sobre os recursos do Cenário I. A flexibilização dos procedimentos operacionais torna o processo mais dinâmico, fazendo com que os produtos entrem e saiam dos tanques sem o tempo de parada para certificação.



Neste caso, a flexibilização dos procedimentos operacionais pode aumentar o desempenho do sistema de forma mais econômica, sem a necessidade de investimentos em tanques ou bombas.

Deve ser considerado que a flexibilização não acontece para o GLP, devido à obrigatoriedade das operações para segregar as interfaces.

Segue a configuração do cenário IV, o tamanho das bateladas e o número de ciclos permanecem constantes:

<b>Local</b>	<b>Produto</b>	<b>Número de Tanques</b>	<b>Capacidade (m3)</b>	<b>Tempo de certificação em horas</b>
<b>R. Preto</b>	Diesel 0,0010% S	1	11,400	0
	Diesel 0,05% S	1	11,400	0
	Gasolina Regular 0,005% S	3	21,543	0
<b>Uberaba</b>	Diesel 0,0010% S	2	12,521	0
	Diesel 0,05% S	1	8287	0
	Gasolina Regular 0,005% S	1	4032	0
<b>Uberlândia</b>	Diesel 0,0010% S	1	11652	0
	Diesel 0,05% S	1	11652	0
	Gasolina Regular 0,005% S	2	7,978	0
<b>Goiânia</b>	Diesel 0,0010% S	2	39,001	0
	Diesel 0,05% S	2	45,482	0
	Gasolina Regular 0,005% S	3	23,603	0
	GLP	7	17,752	10
<b>Brasília</b>	Diesel 0,0010% S	1	12,272	0
	Diesel 0,05% S	1	12,272	0
	Gasolina Regular 0,005% S	3	26,758	0

Tabela 5-26: Resumo dos tanques - Cenário IV

	Condição de recebimento	Vazão fora do horário de ponta em m <sup>3</sup> /hora					
		Entrada	Sangria				
			OSBRA1	RIB	UBB	UBL	GOI
1	0-0-0-1-0	708	0	0	0	708	0
2	1-0-0-1-0	1,156	450	0	0	706	0
3	0-1-0-1-0	1,086	0	450	0	636	0
4	0-0-1-1-0	1,010	0	0	450	560	0
5	1-1-0-1-0	1,155	305	305	0	545	0
6	1-0-1-1-0	1,155	305	0	305	545	0
7	0-1-1-1-0	1,079	0	265	265	549	0
8	1-1-1-1-0	1,155	205	205	205	540	0
9	0-0-0-1-1	647	0	0	0	350	297
10	1-0-0-1-1	1,097	450	0	0	350	297
11	0-1-0-1-1	1,067	0	438	0	338	291
12	0-0-1-1-1	790	0	0	150	350	290
13	1-1-0-1-1	1,155	305	305	0	250	295
14	1-0-1-1-1	1,146	300	0	300	250	296
15	0-1-1-1-1	1,062	0	260	260	250	292
16	1-1-1-1-1	1,144	200	200	200	250	294

Tabela 5-27: Vazões fora do horário de ponta - Cenário IV

	Condição de recebimento	Vazão dentro do horário de ponta em m <sup>3</sup> /hora					
		Entrada	Sangria				
			OSBRA1	RIB	UBB	UBL	GOI
1	0-0-0-1-0	571	0	0	0	571	0
2	1-0-0-1-0	747	197	0	0	550	0
3	0-1-0-1-0	687	0	145	0	542	0
4	0-0-1-1-0	748	0	0	448	300	0
5	1-1-0-1-0	720	90	90	0	540	0
6	1-0-1-1-0	898	298	0	298	302	0
7	0-1-1-1-0	809	0	254	254	301	0
8	1-1-1-1-0	861	150	150	260	301	0
9	0-0-0-1-1	551	0	0	0	361	190
10	1-0-0-1-1	761	220	0	0	351	190
11	0-1-0-1-1	641	0	100	0	351	190
12	0-0-1-1-1	716	0	0	400	125	191
13	1-1-0-1-1	641	50	50	0	351	190
14	1-0-1-1-1	861	280	0	280	110	191
15	0-1-1-1-1	772	0	230	230	120	192
16	1-1-1-1-1	720	110	60	60	300	190

Tabela 5-28: Vazões dentro do horário de ponta - Cenário IV

## RESULTADOS DO CENÁRIO IV

A mudança nos procedimentos, para reduzir o tempo de atendimento ao mercado, melhora muito pouco o desempenho da rede quando comparado com os resultados do

cenário base. O nível de serviço continua abaixo de setenta por cento na maioria dos casos.

Nível de serviço (acumulado)

Produto	Replan	R. Preto	Uberaba	Uberlândia	Goiânia	Brasília
Diesel 0,0010% S	100.0%	63.0%	72.3%	60.3%	74.3%	72.7%
Diesel 0,05% S	100.0%	50.3%	66.7%	38.7%	47.5%	60.6%
Gases	100.1%	0.0%	0.0%	0.0%	37.3%	0.0%
Gasolina Regular 0,005% S	100.0%	69.6%	63.7%	68.7%	68.6%	69.9%
Total	100.0%	58.2%	70.0%	53.7%	59.0%	66.7%

Tabela 5-29: Nível de serviço acumulado - Cenário IV

Ainda comparando com o cenário base, é possível verificar uma pequena variação do giro médio mensal dos estoques.

Giro médio mensal (sobre a capacidade de tancagem)

Produto	Replan	R. Preto	Uberaba	Uberlândia	Goiânia	Brasília
Diesel 0,0010% S	2.1	1.4	2.1	2.2	1.1	1.2
Diesel 0,05% S	2.3	0.3	3.9	1.8	1.7	3.0
Gases	5.6	-	-	-	0.5	-
Gasolina Regular 0,005% S	0.9	0.2	2.2	1.1	1.3	1.2

Tabela 5-30: Giro médio mensal dos estoques - Cenário IV

Estoque Médio (m3)

Produto	Replan	R. Preto	Uberaba	Uberlândia	Goiânia	Brasília
Diesel 0,0010% S	177,941	1,481	1,953	2,443	4,901	1,561
Diesel 0,05% S	147,447	302	2,353	1,499	9,822	2,859
Gases	28,748	-	-	-	422	-
Gasolina Regular 0,005% S	225,308	289	878	634	2,638	4,119

Tabela 5-31: Estoque médio - Cenário IV

Através da figura 5-4 e das tabelas 5-29, 5-30 e 5-31 é possível observar que a dinâmica do processo muda muito pouco em relação ao cenário I. Isto pode ser explicado pelo fato de que, apesar da maior agilidade para liberação do produto para os clientes, os tempos de ressuprimento e o tamanho das bateladas continuam os mesmos.

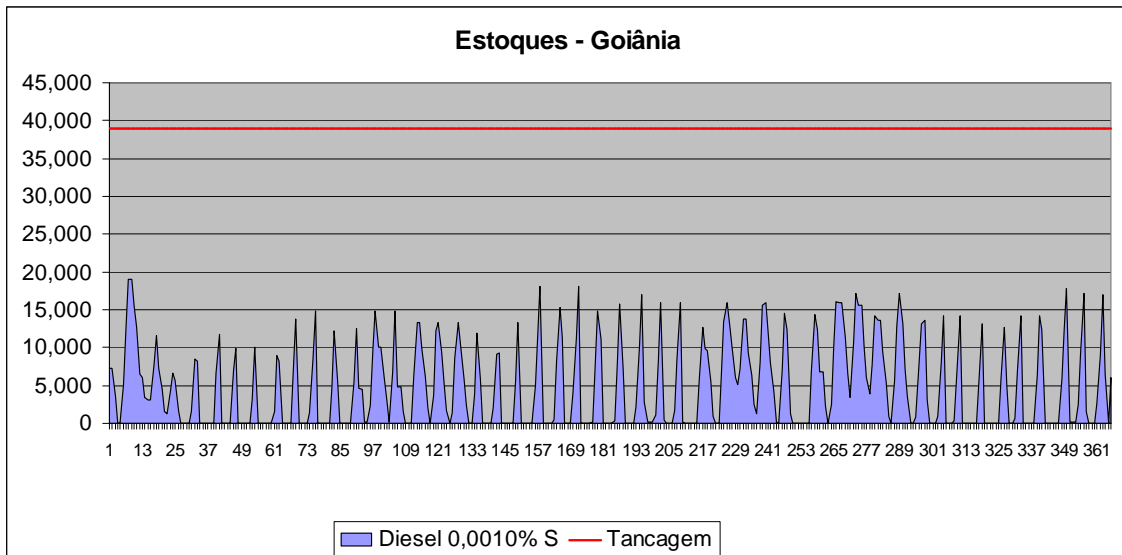


Figura 5-4: Estoque de diesel 0,001% S em Goiânia - Cenário IV

#### 5.1.2.5 CENÁRIO V

No quinto cenário foi analisado o impacto da combinação de novos tanques e novas vazões, sem operação pulmão. O cenário projeta a redução simultânea de dois possíveis gargalos: capacidade de armazenamentos dos terminais e velocidade de reposição dos estoques.

Na configuração de entrada, o tamanho das bateladas e o número dos ciclos permanecem constantes. Os demais dados são os seguintes:

Local	Produto	Número de Tanques	Capacidade (m3)	Tempo de certificação em horas
<b>R. Preto</b>	Diesel 0,0010% S	2	16,000	10
	Diesel 0,05% S	2	22,800	10
	Gasolina Regular 0,005% S	3	21,543	10
<b>Uberaba</b>	Diesel 0,0010% S	2	10,000	10
	Diesel 0,05% S	2	16,774	10
	Gasolina Regular 0,005% S	2	8,066	10
<b>Uberlândia</b>	Diesel 0,0010% S	2	24,000	10
	Diesel 0,05% S	2	23,304	10
	Gasolina Regular 0,005% S	2	7,978	10
<b>Goiânia</b>	Diesel 0,0010% S	3	44,000	10
	Diesel 0,05% S	3	81,465	10
	Gasolina Regular 0,005% S	4	33,102	10
	GLP	7	17,752	10
<b>Brasília</b>	Diesel 0,0010% S	2	7,718	10
	Diesel 0,05% S	2	24,544	10
	Gasolina Regular 0,005% S	3	26,758	10

Tabela 5-32: Resumo dos tanques - Cenário V

	Condição de recebimento	Vazão fora do horário de ponta em m <sup>3</sup> /hora					
		Entrada	Sangria				
			OSBRA1	RIB	UBB	UBL	GOI
1	0-0-0-1-0	988	0	0	0	988	0
2	1-0-0-1-0	1,460	450	0	0	1,010	0
3	0-1-0-1-0	1,447	0	450	0	997	0
4	0-0-1-1-0	1,447	0	0	450	997	0
5	1-1-0-1-0	1,460	450	450	0	560	0
6	1-0-1-1-0	1,460	450	0	450	560	0
7	0-1-1-1-0	1,447	0	450	450	547	0
8	1-1-1-1-0	1,500	350	350	260	540	0
9	0-0-0-1-1	1,400	0	0	0	800	600
10	1-0-0-1-1	1,400	450	0	0	700	250
11	0-1-0-1-1	1,388	0	438	0	700	250
12	0-0-1-1-1	1,400	0	0	400	700	300
13	1-1-0-1-1	1,450	420	420	0	360	250
14	1-0-1-1-1	1,440	420	0	420	400	200
15	0-1-1-1-1	1,410	0	380	380	400	250
16	1-1-1-1-1	1,500	400	400	200	350	150

Tabela 5-33: Vazões fora do horário de ponta - Cenário V

	Condição de recebimento	Vazão dentro do horário de ponta em m <sup>3</sup> /hora					
		Entrada	Sangria				
			OSBRA1	RIB	UBB	UBL	GOI
1	0-0-0-1-0	797	0	0	0	797	0
2	1-0-0-1-0	944	197	0	0	747	0
3	0-1-0-1-0	915	0	145	0	770	0
4	0-0-1-1-0	1,072	0	0	448	624	0
5	1-1-0-1-0	910	133	133	0	645	0
6	1-0-1-1-0	1,134	440	0	440	255	0
7	0-1-1-1-0	1,085	0	431	431	222	0
8	1-1-1-1-0	1,118	256	256	330	276	0
9	0-0-0-1-1	1,030	0	0	0	769	261
10	1-0-0-1-1	962	220	0	0	466	276
11	0-1-0-1-1	854	0	100	0	458	296
12	0-0-1-1-1	1,027	0	0	533	289	204
13	1-1-0-1-1	810	74	74	0	467	195
14	1-0-1-1-1	1,088	350	0	350	200	188
15	0-1-1-1-1	1,265	0	354	354	327	230
16	1-1-1-1-1	1,073	220	120	60	534	139

Tabela 5-34: Vazões dentro do horário de ponta - Cenário V

## RESULTADOS DO CENÁRIO V

O nível de serviço alcançado com as alterações realizadas foi significativo. Apenas o GLP, que não obteve aumento da sua capacidade de armazenamento, continua com baixo nível de serviço.

A maioria dos indicadores ficaram acima de oitenta por cento, chegando a noventa e sete por cento para o diesel 0,0010% S em Uberlândia.

Nível de serviço (acumulado)

Produto	Replan	R. Preto	Uberaba	Uberlândia	Goiânia	Brasília
Diesel 0,0010% S	100.0%	92.0%	92.9%	97.1%	96.8%	81.7%
Diesel 0,05% S	100.0%	79.0%	93.5%	84.8%	82.4%	89.3%
Gases	100.2%	0.0%	0.0%	0.0%	48.3%	0.0%
Gasolina Regular 0,005% S	100.0%	88.2%	89.0%	86.6%	87.8%	86.0%
<b>Total</b>	<b>100.0%</b>	<b>85.3%</b>	<b>92.4%</b>	<b>90.2%</b>	<b>85.5%</b>	<b>86.8%</b>

Tabela 5-35: Nível de serviço acumulado - Cenário V

Giro médio mensal (sobre a capacidade de tancagem)

Produto	Replan	R. Preto	Uberaba	Uberlândia	Goiânia	Brasília
Diesel 0,0010% S	2.3	1.4	3.8	1.7	1.2	2.1
Diesel 0,05% S	3.0	0.2	2.8	1.9	1.6	2.0
Gases	5.7	-	-	-	0.6	-
Gasolina Regular 0,005% S	1.0	0.2	1.5	1.4	1.2	1.4

Tabela 5-36: Giro médio mensal dos estoques - Cenário V

Estoque Médio (m3)

Produto	Replan	R. Preto	Uberaba	Uberlândia	Goiânia	Brasília
Diesel 0,0010% S	176,284	1,615	3,067	6,152	14,187	1,251
Diesel 0,05% S	145,270	1,577	4,283	3,980	21,791	7,401
Gases	28,708	-	-	-	640	-
Gasolina Regular 0,005% S	224,616	434	820	1,200	4,245	6,342

Tabela 5-37: Estoque médio - Cenário V

As maiores velocidades para reposição de estoque e atendimento aos clientes aumentam o número de reposições. Nos períodos de maior demanda ainda é possível verificar a falta de diesel 0,0010%S, porém conforme pode ser visto na figura 5-5 abaixo, é possível identificar grandes períodos onde o estoque não é zerado.

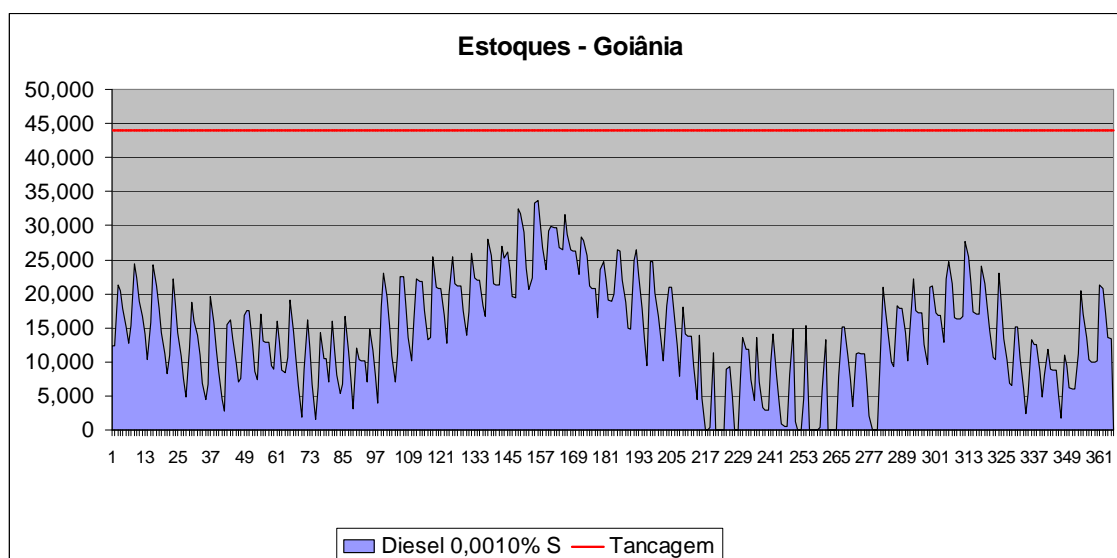


Figura 5-5: Estoque de diesel 0,001% S em Goiânia - Cenário V

### 5.1.2.6 CENÁRIO VI

Este cenário inclui a operação pulmão na configuração do cenário anterior, ou seja com maior capacidade de armazenamento e maior velocidade de reposição do estoque. O sistema fica ainda mais flexível e os seus resultados permitem avaliar o desempenho do sistema com o aumento dos recursos e a mudança dos procedimentos operacionais.

Quanto à configuração dos dados de entrada, uma única alteração acontece em relação ao quinto cenário, os tempos da coluna “tempo de certificação em horas” da tabela “Resumo de tanques”, foram reduzidos de dez para zero hora.

Local	Produto	Número de Tanques	Capacidade (m3)	Tempo de certificação em horas
R. Preto	Diesel 0,0010% S	2	16,000	0
	Diesel 0,05% S	2	22,800	0
	Gasolina Regular 0,005% S	3	21,543	0
Uberaba	Diesel 0,0010% S	2	10,000	0
	Diesel 0,05% S	2	16,774	0
	Gasolina Regular 0,005% S	2	8,066	0
Uberlândia	Diesel 0,0010% S	2	24,000	0
	Diesel 0,05% S	2	23,304	0
	Gasolina Regular 0,005% S	2	7,978	0
Goiânia	Diesel 0,0010% S	3	44,000	0
	Diesel 0,05% S	3	81,465	0
	Gasolina Regular 0,005% S	4	33,102	0
	GLP	7	17,752	10
Brasília	Diesel 0,0010% S	2	7,718	0
	Diesel 0,05% S	2	24,544	0
	Gasolina Regular 0,005% S	3	26,758	0

Tabela 5-38: Resumo dos tanques - Cenário VI

## RESULTADOS DO CENÁRIO VI

A operação pulmão aumenta ainda mais a dinâmica de todo o sistema. A indisponibilidade de espaço nos tanques para recebimento dos produtos nos terminais é reduzida, a rotatividade dos produtos nos tanques aumenta, o que pode ser verificado na tabela 4-40, e o nível de serviço alcança valores bastante elevados, superiores a noventa por cento.

Nível de serviço (acumulado)

Produto	Replan	R. Preto	Uberaba	Uberlândia	Goiânia	Brasília
Diesel 0,0010% S	100.0%	97.6%	95.4%	98.5%	98.2%	87.7%
Diesel 0,05% S	100.0%	91.4%	94.6%	90.1%	89.7%	90.3%
Gases	100.3%	0.0%	0.0%	0.0%	53.9%	0.0%
Gasolina Regular 0,005% S	100.0%	92.6%	107.0%	91.5%	94.0%	92.5%
Total	100.1%	93.9%	97.4%	93.7%	90.8%	90.7%

Tabela 5-39: Nível de serviço acumulado - Cenário VI



Giro médio mensal (sobre a capacidade de tancagem)

Produto	Replan	R. Preto	Uberaba	Uberlândia	Goiânia	Brasília
Diesel 0,0010% S	2.4	1.4	4.2	1.7	1.3	2.2
Diesel 0,05% S	3.2	0.2	3.3	2.1	1.9	1.9
Gases	5.7	-	-	-	0.7	-
Gasolina Regular 0,005% S	1.0	0.2	1.5	1.4	1.3	1.5

Tabela 5-40: Giro médio mensal dos estoques - Cenário VI

Estoque Médio (m3)

Produto	Replan	R. Preto	Uberaba	Uberlândia	Goiânia	Brasília
Diesel 0,0010% S	175,794	1,891	6,192	8,779	17,628	2,222
Diesel 0,05% S	144,511	416	7,176	6,311	18,225	4,917
Gases	28,763	-	-	-	572	-
Gasolina Regular 0,005% S	224,471	436	3,052	1,943	9,203	5,960

Tabela 5-41: Estoque médio - Cenário VI

A elevação dos estoques médios se reflete no gráfico da figura 5-6 abaixo. Poucos eventos de falta de produto ocorrem nos períodos de maior demanda, na maior parte do tempo são mantidos estoques que garantem o abastecimento do mercado.

Diferentemente do resultado do cenário IV, desta vez os espaços nos tanques são liberados e preenchidos mais rapidamente. O desempenho do sistema melhora e indica que, neste caso, a mudança operacional traz resultados positivos.

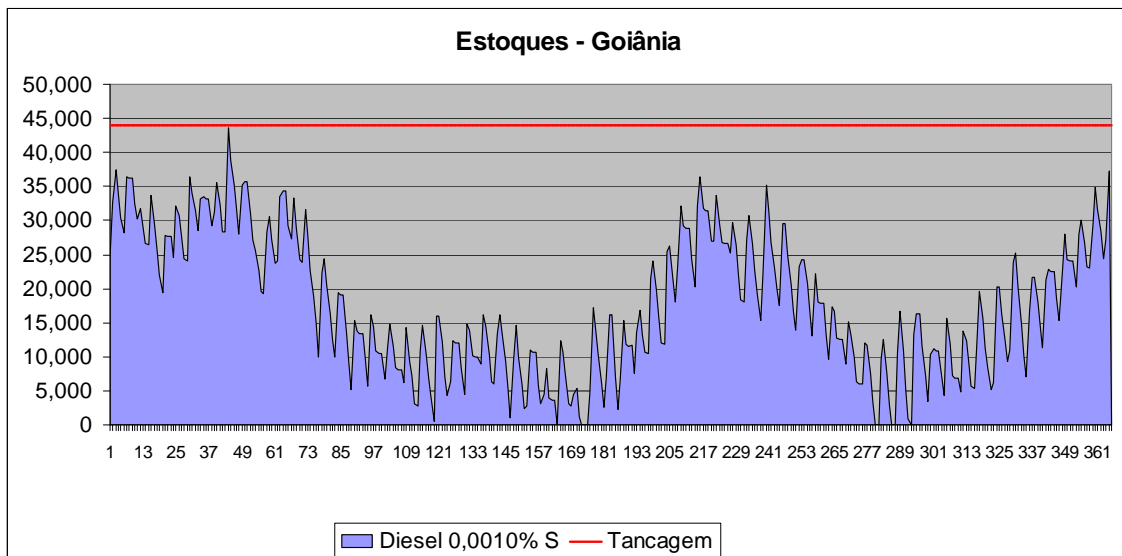


Figura 5-6: Estoque de diesel 0,001% S em Goiânia – Cenário VI

### 5.1.2.7 CENÁRIO VII

O último cenário permite analisar o impacto da mudança do ciclo de envio das bateladas de GLP combinado com os tanques e vazões configurados no Cenário V.

Nos cenários anteriores, o tamanho das bateladas foi determinado pela divisão entre a soma da demanda por produto de todos os terminais e o número de ciclos pré-definido (seis). A cada cinco dias, em média, uma nova seqüência de produtos era bombeada na refinaria para os terminais do OSBRA.

O cenário sete possui dois ciclos distintos, um para diesel e gasolina e outro para GLP. O diesel e a gasolina permanecem com o ciclo dos cenários anteriores (seis) e o GLP, que possui a menor demanda entre os produtos, passa a ter um novo ciclo de três. Desta forma, o GLP será bombeado em média a cada 10 dias.

A configuração dos parâmetros dos tanques e vazões é igual à realizada para o cenário cinco. Apenas a configuração do número de ciclos é diferente.

<b>Produto</b>	<b>Vol. Batelada Máxima (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Vol. Batelada Mínima (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Ciclos</b>
Diesel 0,0010% S	70,000	1,750	6
Diesel 0,05% S	120,000	1,750	6
Gasolina Regular 0,005% S	45,000	1,750	6
GLP	15,000	1,750	3

Tabela 5-42: Tamanho das bateladas e ciclos - Cenário VII

### RESULTADOS DO CENÁRIO VII

A mudança no ciclo do GLP proposta neste cenário, combinada a capacidade de armazenamento e da velocidade de reposição dos estoques, melhorou o desempenho do GLP, quando comparado como cenário V, sem a necessidade do aumento da sua capacidade de armazenamento.

Nível de serviço (acumulado)

Produto	Replan	R. Preto	Uberaba	Uberlândia	Goiânia	Brasília
Diesel 0,0010% S	100.0%	88.7%	94.6%	92.2%	96.1%	76.8%
Diesel 0,05% S	100.0%	81.5%	91.4%	83.5%	87.9%	83.2%
Gases	100.1%	0.0%	0.0%	0.0%	93.4%	0.0%
Gasolina Regular 0,005% S	100.0%	84.4%	81.2%	84.7%	85.4%	86.0%
<b>Total</b>	<b>100.0%</b>	<b>84.6%</b>	<b>92.1%</b>	<b>87.2%</b>	<b>89.9%</b>	<b>83.2%</b>

Tabela 5-43: Nível de serviço acumulado - Cenário VII

Giro médio mensal (sobre a capacidade de tancagem)

Produto	Replan	R. Preto	Uberaba	Uberlândia	Goiânia	Brasília
Diesel 0,0010% S	2.4	1.5	3.6	1.6	1.3	1.9
Diesel 0,05% S	3.1	0.2	3.2	1.9	1.8	1.8
Gases	6.0	-	-	-	1.2	-
Gasolina Regular 0,005% S	1.0	0.2	1.3	1.4	1.2	1.4

Tabela 5-44: Giro médio mensal dos estoques - Cenário VII

Estoque Médio (m3)

Produto	Replan	R. Preto	Uberaba	Uberlândia	Goiânia	Brasília
Diesel 0,0010% S	176,384	1,627	2,406	5,454	9,083	1,515
Diesel 0,05% S	144,073	1,465	4,316	4,712	23,767	5,682
Gases	28,590	-	-	-	1,923	-
Gasolina Regular 0,005% S	224,809	384	1,225	1,007	3,270	5,264

Tabela 5-45: Estoque médio - Cenário VII

Como era de se esperar, a mudança do ciclo do GLP interfere no abastecimento de todos os produtos. No gráfico da figura 5-7 é possível verificar que a falta de diesel 0,0010% S aumenta na segunda metade do ano, período de maior demanda do produto. Assim como no cenário V, o abastecimento do diesel 0,0010% S neste período é crítico.

Também é possível verificar que a mudança do ciclo do GLP e a falta da operação pulmão fazem com que o sistema leve mais tempo para recuperar o estoque e conseqüentemente o nível de serviço.

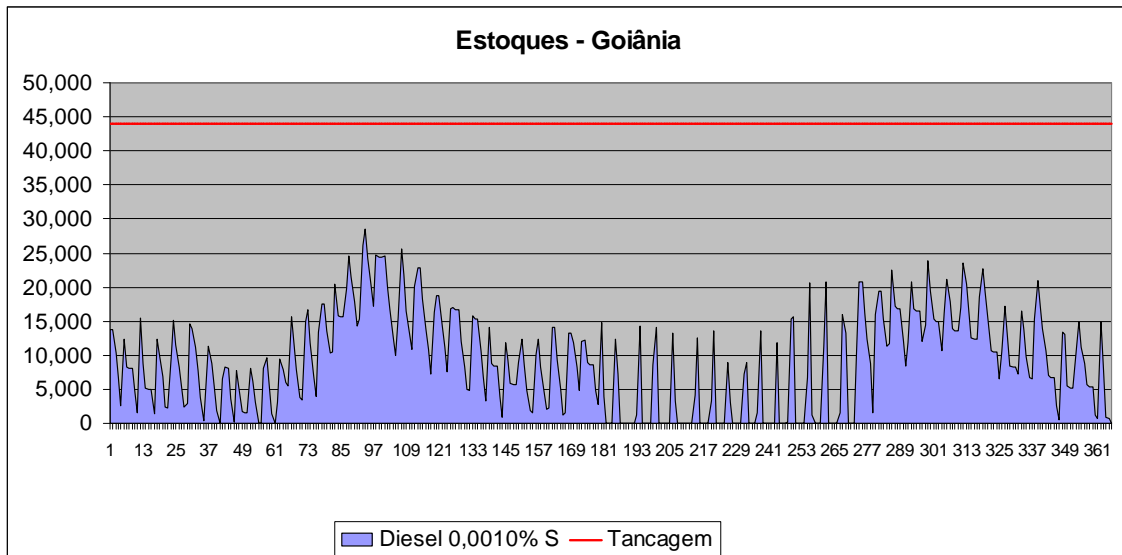


Figura 5-7: Estoque de diesel 0,001% S em Goiânia - Cenário VII

## 5.2 COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS

Os resultados obtidos permitem analisar a capacidade da cadeia de suprimento de derivados de petróleo submetida ao aumento da demanda e do número de produtos movimentados, incluindo também os impactos das ações para aumentar a capacidade de armazenamento, aumentar a velocidade de reposição dos estoques, reduzir o tempo operacional de certificação e alterar o ciclo dos produtos.

As ações foram analisadas isoladamente ou combinadas dentro dos cenários conforme resumo apresentado na tabela 5-46 abaixo.

Cenário	Aumento da Capacidade de Armazenamento	Aumento da Velocidade de Reposição dos Estoques	Operação Pulmão - Eliminação do Tempo de Certificação	Alteração do Ciclo do GLP
I	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
II	SIM	NÃO	NÃO	NÃO
III	NÃO	SIM	NÃO	NÃO
IV	NÃO	NÃO	SIM	NÃO
V	SIM	SIM	NÃO	NÃO
VI	SIM	SIM	SIM	NÃO
VII	SIM	SIM	NÃO	SIM

Tabela 5-46: Resumo dos cenários

A primeira análise considera a média do nível de serviço alcançada pelos terminais em cada cenário. Os comportamentos dos terminais foram semelhantes, as tendências de queda e de crescimento foram acompanhadas por todos os terminais em todos os cenários na grande maioria das vezes.

Os cenários três, cinco, seis e sete apresentam aumento significativo do nível de serviço em relação ao cenário I. A característica comum entre estes cenários é o aumento da velocidade de reposição dos estoques, através do aumento das vazões. Nos cenários onde as vazões não foram aumentadas, o aumento do nível de serviço foi pequeno.

Nos cenários cinco, seis e sete, a combinação entre o aumento da velocidade de reposição e o aumento da capacidade de armazenamento eleva o patamar do nível de serviço para valores superiores a oitenta por cento. Já no cenário II, onde apenas ocorre aumento da capacidade de armazenamento dos terminais, o aumento do nível de serviço acontece apenas no terminal de Uberlândia.

Nível de Serviço

<b>Cenário</b>	<b>R. Preto</b>	<b>Uberaba</b>	<b>Uberlândia</b>	<b>Goiânia</b>	<b>Brasília</b>
CENÁRIO I	58.19%	68.38%	52.42%	58.88%	66.92%
CENÁRIO II	53.95%	59.32%	59.05%	57.53%	58.96%
CENÁRIO III	73.11%	89.68%	65.06%	77.27%	82.15%
CENÁRIO IV	58.18%	70.03%	53.72%	59.01%	66.67%
CENÁRIO V	85.30%	92.37%	90.16%	85.51%	86.79%
CENÁRIO VI	93.90%	97.43%	93.69%	90.81%	90.68%
CENÁRIO VII	84.60%	92.05%	87.16%	89.89%	83.25%

Tabela 5-47: Níveis de serviço alcançados

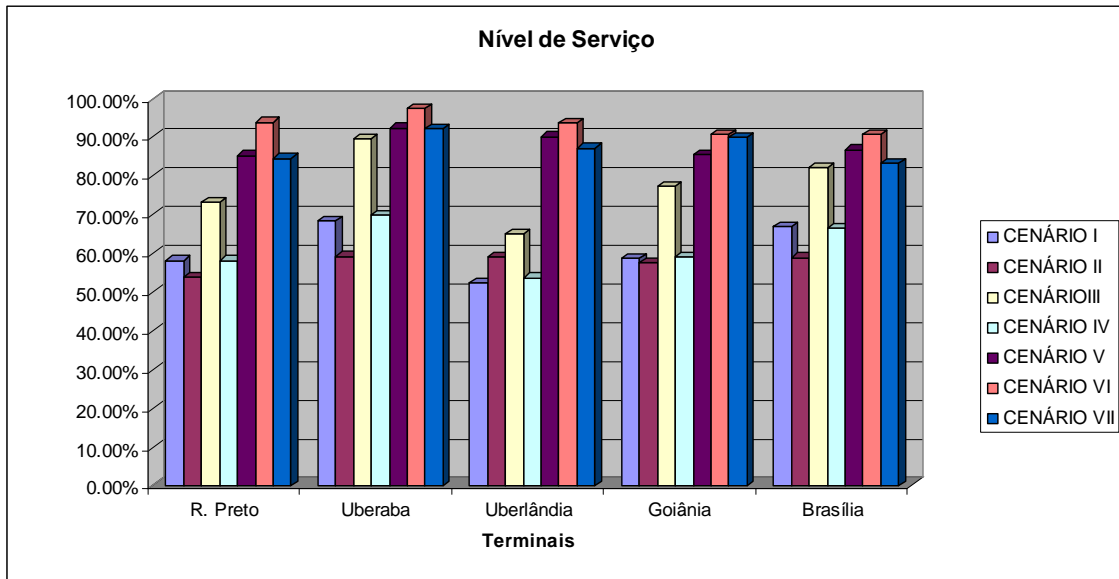


Figura 5-8: Gráfico comparativo - Nível de serviço

A comparação entre os giros médios dos estoques de cada terminal, tabela 5-48, deve ser analisada considerando o aumento da capacidade de armazenamento nos cenários dois, cinco, seis e sete, conforme apresentado na tabela 5-49.

Giro Médio Mensal (sobre a capacidade de tancagem)

Cenário	R. Preto	Uberaba	Uberlândia	Goiânia	Brasília
CENÁRIO I	0.4	2.0	1.7	1.2	1.8
CENÁRIO II	0.3	1.5	1.0	0.8	1.2
CENÁRIO III	0.8	3.6	2.1	1.6	2.2
CENÁRIO IV	0.6	2.7	1.7	1.1	1.8
CENÁRIO V	0.6	2.7	1.7	1.2	1.8
CENÁRIO VI	0.6	3.0	1.7	1.3	1.9
CENÁRIO VII	0.6	2.7	1.6	1.4	1.7

Tabela 5-48: Giro médio mensal dos estoques nos terminais

Numa primeira análise, o aumento do giro médio no cenário III é consequência da maior velocidade de deslocamento e reposição dos estoques para uma capacidade de armazenamento reduzida. Quando este aumento de velocidade vem acompanhado pelo aumento da capacidade de armazenamento, o giro médio dos estoques não é muito impactado.

Local	Produto	Número de Tanques		Capacidade (m <sup>3</sup> )	
		Cenários I, III e IV	Cenários II, V, VI e VII	Cenários I, III e IV	Cenários II, V, VI e VII
R. Preto	Diesel 0,0010% S	1	2	11,400	16,000
	Diesel 0,05% S	1	2	11,400	22,800
	Gasolina	3	3	21,543	21,543
Uberaba	Diesel 0,0010% S	2	2	12,521	10,000
	Diesel 0,05% S	1	2	8,287	16,774
	Gasolina	1	2	4,032	8,066
Uberlândia	Diesel 0,0010% S	1	2	11,652	24,000
	Diesel 0,05% S	1	2	11,652	23,304
	Gasolina	2	2	7,978	7,978
Goiânia	Diesel 0,0010% S	2	3	39,001	44,000
	Diesel 0,05% S	2	3	45,482	81,465
	Gasolina	3	4	23,603	33,102
	GLP	7	7	17,752	17,752
Brasília	Diesel 0,0010% S	1	2	12,272	7,718
	Diesel 0,05% S	2	2	12,272	24,544
	Gasolina	3	3	26,758	26,758

Tabela 5-49: Aumento da capacidade de armazenamento nos terminais

No cenário VI, apesar do aumento da capacidade de armazenamento dos terminais, o aumento da velocidade de reposição dos estoques é ampliado através da operação pulmão que elimina o tempo de certificação e disponibiliza o produto para entrega logo após a sua chegada ao terminal.

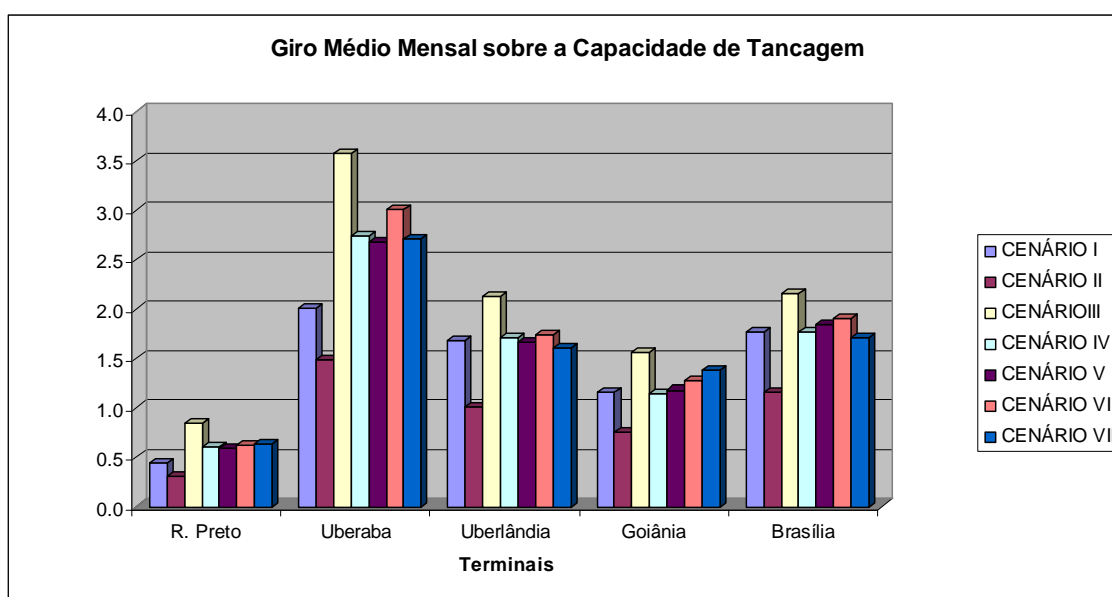


Figura 5-9: Gráfico comparativo - Giro médio mensal dos estoques

Outra consideração deve ser feita sobre o pequeno giro realizado pelo terminal de Ribeirão Preto, que pode ser explicado através da grande capacidade de armazenamento de gasolina do terminal, 21,543 m<sup>3</sup>, e da pequena demanda média mensal do produto, cerca de 20,500m<sup>3</sup>/mês, que empurra a média do giro para baixo.

Já os pequenos volumes movimentados no terminal de Uberaba e a sua capacidade de armazenamento fazem com que a média do giro dos estoques seja mais alta que a dos outros terminais.

Através do gráfico 5-10 é possível identificar as relações entre o estoque médio, a velocidade de reposição dos estoques, a capacidade de armazenamento e o nível de serviço. O aumento da capacidade de armazenamento nos terminais de Uberlândia e Goiânia aumentou o estoque médio destes terminais. Quando a capacidade de armazenamento e a vazão aumentam simultaneamente, o aumento do estoque médio é ainda maior.

No cenário IV, com operação pulmão e sem incremento da capacidade de armazenamento e da vazão, o estoque médio diminui. Em parte, este fenômeno pode ser explicado pelo fato de que boa parte dos produtos que chegam ao terminal segue diretamente para os clientes sem entrar nos tanques e não é contabilizado.

Já no cenário VI, a combinação entre a operação pulmão, o incremento da capacidade de armazenamento e da vazão aumenta o nível de serviço para valores superiores a noventa por cento, conseqüentemente o estoque médio aumenta.



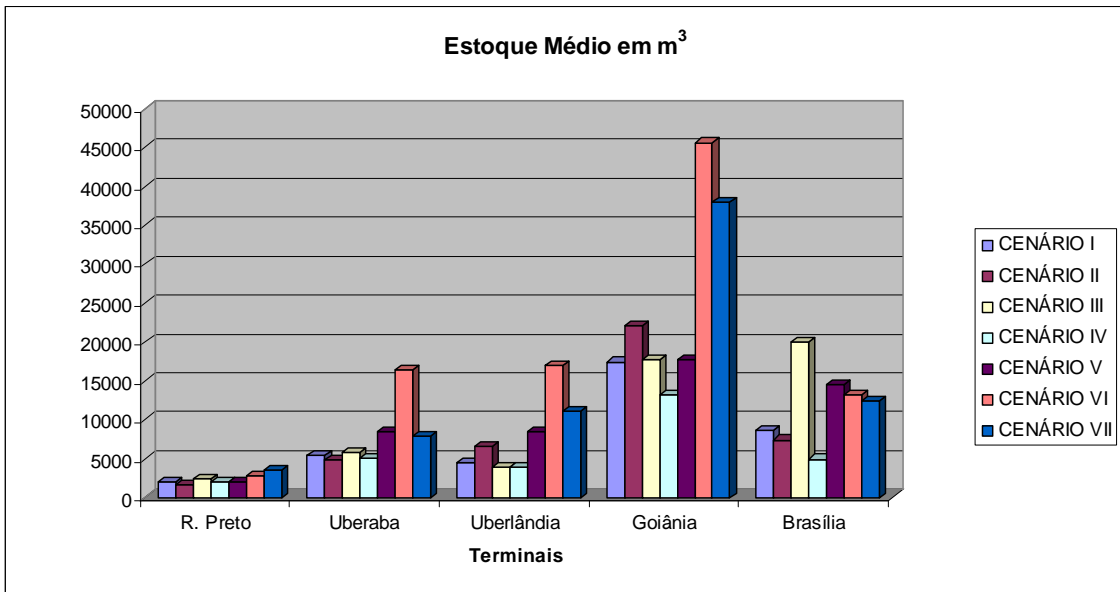


Figura 5-10: Gráfico comparativo - Estoque médio

## CAPÍTULO VI

### 6 CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo de simulação para análise e auxílio na tomada de decisão em estudos da cadeia de suprimentos de derivados de petróleo envolvendo redes de transporte que utilizam os modais dutoviário e rodoviário.

O principal problema inclui a avaliação da capacidade e a eficiência logística do poliduto OSBRA e seus terminais na distribuição de diesel, gasolina e GLP na região centro oeste do Brasil. Foram analisados cenários considerando o aumento das demandas e do número de produtos movimentados e os impactos provocados pelo aumento da velocidade de reposição dos estoques, da capacidade de armazenamento e de alterações nos procedimentos operacionais.

A metodologia proposta considera uma análise da dinâmica do problema e procura refletir a movimentação diária dos produtos considerando a variabilidade e sazonalidades da demanda. Além disso, com o modelo de simulação foi possível visualizar o problema de forma sistêmica, a identificar e a priorizar os gargalos que comprometem o seu desempenho.

As análises na área de simulação são exploratórias, os cenários desenvolvidos não esgotam o estudo sobre o tema, novos cenários podem ser testados para que processos de tomada de decisão sejam mais consistentes.

A representação total da realidade através de um modelo de simulação é impossível. As simplificações adotadas e a padronização das operações no modelo limitam os resultados e os resultados obtidos no estudo devem ser analisados sob a luz destas premissas e simplificações. É importante ressaltar que as flexibilidades operacionais do dia-a-dia podem melhorar o desempenho do sistema.

Coordenar as movimentações e realizar as retiradas dos produtos do duto sem interrupção do fluxo foram alguns desafios encontrados no início do trabalho. Com os

recursos disponibilizados pela ferramenta Arena, as bateladas foram discretizadas e a reprodução das movimentações geraram os resultados esperados.

Outro ponto fundamental para o sucesso do trabalho foi a etapa de levantamento de dados e informações para definição do problema.

A construção do modelo conceitual com a clara definição do escopo e das interfaces com os processos externos facilitaram a construção do modelo de simulação. O tempo adicional utilizado para seleção dos principais parâmetros de entrada e desenvolvimento de uma interface de entrada amigável, utilizando planilhas do software Excell 2003, foi compensado durante a construção e execução dos cenários.

Além disso, uma boa seleção dos indicadores para avaliação de desempenho da cadeia de suprimentos garante respostas adequadas para atendimentos dos objetivos propostos.

Os cenários foram construídos para testar a capacidade da cadeia e avaliar alternativas para os gargalos de infra-estrutura e operacionais. Os resultados apresentados pelo modelo de simulação para os cenários estudados foram coerentes, indicando um melhor desempenho no cenário onde ocorreram investimentos.

É possível afirmar que a metodologia proposta é capaz de produzir significativos resultados na avaliação da capacidade logística da rede duto-rodoviária de distribuição de derivados combustíveis de petróleo. Além da verificação da capacidade do atendimento de possíveis aumentos da demanda, estudos complementares podem auxiliar no direcionamento correto para ampliação do sistema.

As principais conclusões retiradas sobre a cadeia de suprimentos são as seguintes:

- A configuração atual da cadeia quando submetida ao aumento da demanda e ao acréscimo de mais um produto apresenta uma ineficiência operacional que não atende as expectativas do mercado e da empresa. Os produtos fazem parte da matriz energética do Brasil e são fundamentais em outros processos produtivos. O nível de serviço do sistema deve ser elevado;

- A baixa velocidade de deslocamento dos produtos, inerente ao modal dutoviário é o principal gargalo do sistema. O envio dos produtos para os terminais mais distantes levam de dez a quinze dias dependendo das vazões utilizadas;
- A pequena de infra-estrutura de armazenamento dos terminais, verificada no Cenário I, não é o principal gargalo do sistema. A inclusão de novos tanques no Cenário II não foi suficiente para que o nível de serviço do sistema alcançasse níveis de serviços satisfatórios;
- No cenário IV, foi possível verificar que mesmo com o aumento da velocidade dos processos internos dos terminais, através da eliminação dos processos de certificação, os níveis de serviço não apresentaram o crescimento desejado, apontando mais uma vez que o principal gargalo do sistema é a velocidade de deslocamento e reposição dos produtos nos estoques;
- O aumento das vazões realizado nos cenários III, V, VI e VII aumentou a velocidade de reposição, o giro dos estoques e conseqüentemente o nível de serviço do sistema;
- O aumento indiscriminado das vazões esbarra em restrições financeiras para instalação de novas bombas ou dutos com diâmetros maiores. A combinação entre o aumento da velocidade de reposição dos estoques e o aumento da capacidade de armazenamento dos terminais reduziu dois gargalos simultâneos e elevou o nível de serviço para um novo patamar superior a noventa por cento;
- Por outro lado, os aumentos da velocidade de reposição dos estoques e da capacidade de armazenamento aumentam os estoques e os custos operacionais. Estes efeitos devem ser considerado como contraponto na hora da expansão do sistema;

- Uma vez ultrapassado o gargalo da velocidade de deslocamento e reposição dos estoques, a eliminação dos tempos de certificação torna o processo mais estável, e minimiza as interrupções no fornecimento dos produtos ao mercado consumidor;
- A pequena demanda e a capacidade de armazenamento configurada para o terminal de Uberaba criaram uma interface entre os modais dutoviário e rodoviário capaz de neutralizar a influência do carregamento rodoviário em todo o sistema;
- A alteração do número de ciclos realizado no Cenário VII, associada ao aumento da velocidade de reposição dos estoques melhorou o nível de serviço do GLP sem que a sua capacidade de armazenamento fosse alterada. Estudos considerando o número de ciclos podem ser estendidos para os outros produtos na busca de melhores desempenhos com a redução de investimentos;
- Uma análise conjunta do estoque médio e do nível de serviço dos terminais permite verificar que os estoques médios mais altos proporcionaram níveis de serviço mais altos. Também é possível verificar que para ampliar a capacidade da cadeia será necessário aumentar a velocidade de reposição e a capacidade de armazenamento.

A simulação de novos cenários pode complementar e fundamentar os processos de tomada de decisão e priorização de investimentos na cadeia de suprimentos estudada.

### **Recomendações para Trabalhos Futuros**

Como recomendação para trabalhos futuros sugere-se a extensão das análises para novos cenários e estudos complementares, como segue:

- Aumentar as previsões demanda para o terminal de Uberaba, estressando a interface entre os modais rodoviário e dutoviário dentro do terminal, avaliando os impactos sob condições mais críticas;
- Considerar a variabilidade da produção na refinaria, gerando incertezas da disponibilidade dos produtos no momento do bombeamento. Esta alteração irá alterar o procedimento de definição das bateladas e influenciar no desempenho do sistema;
- Inclusão de aspectos financeiros para análise dos investimentos propostos nos cenários. Considerando os gargalos de velocidade de reposição dos estoques e de capacidade de armazenamento, com a inclusão de uma análise financeira será possível comparar o custo dos estoques imobilizados contra investimentos em infra-estrutura e auxiliar na definição do melhor investimento para melhorar a capacidade do sistema;
- A última recomendação considera a extensão dos estudos de simulação com inclusão da otimização do número de ciclos de bombeamento dos produtos na refinaria. No Cenário VII, foi verificado que apenas com a mudança do número de ciclos do GLP foi possível aumentar o nível do serviço sem a necessidade de investimento na capacidade de armazenamento do produto no terminal de Goiânia.

Estas análises futuras também devem considerar as evoluções nos procedimentos operacionais e as evoluções tecnológicas, que podem diminuir os custos das operações e investimento, viabilizando novos cenários.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANP – Agência Nacional de Petróleo, 2009a, “Anuário Estatístico 2009”. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=8240&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1274711259174>>. Acesso em 25/05/2010.
- ANP – Agência Nacional de Petróleo, 2009b, “Resolução ANP nº 42, de 16.12.2009”. Disponível em < <http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll?f=templates&fn=default.htm&vid=anp:10.1048/enu>>. Acesso em 24/05/2010.
- ANP – Agência Nacional de Petróleo, 2009c, “Vendas, pelas Distribuidoras, dos Derivados Combustíveis de Petróleo”. Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/?pg=23307&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1274718150470>>. Acesso em 24/05/2010.
- ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2009, *Relatório Anual de Acompanhamento das concessões Ferroviárias Ano 2009*, disponível em: < <http://www.antt.gov.br/relatorios/ferroviario/concessionarias2009/index.asp>>, acesso em 25/05/2010.
- ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários, 2009, Anuário estatístico Portuário. disponível em: < <http://www.antaq.gov.br/Portal/Anuarios/Portuario2009/Pdf/Tabelas>>. Acesso em 25/05/2010.
- BALLOU, R., H., 2004, *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos / Logística Empresarial*, 5 ed. Porto Alegre, ArtMed,.
- BANKS, J., CARSON, J.S., NELSON, B.L., 1995, *Discrete-Event System Simulation*, 2 ed. New Jersey, Prentice-Hall.
- BANKS, J., 1999, “Introduction to Simulation”. *Winter Simulation Conference*, Phoenix, Arizona, USA.

- BARROS, E.V., 2007, “A Matriz Energética Mundial e a Competitividade entre as Nações : Bases de uma Nova Geopolítica”. *Engevista*, v. 9, n. 1, pp. 47-56, Junho.
- BOWERSOX, D.J., CLOSS, D.J., 2001, *Logística Empresarial – O Processo de Integração da Cadeia de Suprimento*, 1 ed. São Paulo, Atlas.
- CARSON II, J.S., 2005, “Introduction to Modeling and Simulation”. *Winter Simulation Conference*, Orlando, Florida, USA.
- CHAN A., 2006, *Simulação aplicada às operações logísticas de um parque de armazenamento de gasolina de uma refinaria de petróleo*. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- CHING, H.Y., 2001, *Gestão de Estoques na Cadeia de Logística Integrada*, 1 ed. São Paulo, Editora Atlas.
- COOPER, M.C., LAMBERT, D.M., PAGH, J.D., 1997, “Supply Chain Management: More Than a New Name for Logistics”. *In: The International Journal of Logistic Management*, v.8, N. 1, pp 1-14.
- COSTA, M. A. B., 2001, “Pesquisa Operacional Aplicada à Agroindústria”. *In: Gestão Agroindustrial. Coord. M.O. Batalha*, Editora Atlas.
- COSTA, M. A. B., 2004, *Um modelo baseado em conhecimento para simular rebanhos de bovinos de corte*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil.
- COYLE, J.J., BARDI, E.J., LANGLEY JR, C.J., 1996, *The Management of Business Logistics*, 1 ed. Mineapolis, St Paul, West Publishing Company.



- DUMIT, C., 2005, *O Transporte Ferroviário no Brasil – Estudo de Caso do Transporte de Combustível na Região Sul*. Dissertação de M.Sc., Departamento de Engenharia Industrial, PUC-Rio, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- FIGUEIREDO, K., ARKADER, R., 2000, “Da Distribuição Física ao Supply Chain Management”. In: *Logística Empresarial*, v. 1, *Coleção COPPEAD de Administração*, Editora Atlas, pp. 49 - 55.
- FIGUEIREDO, R., 2005, *Gargalos Logísticos na Distribuição de Combustíveis Brasileiros*, CEL/COPPEAD e Comissão de Logística do IBP
- FLEURY, P.F., 2000a, “Logística Integrada”. In: *Logística Empresarial*, v. 1, *Coleção COPPEAD de Administração*, Editora Atlas, pp. 27- 38.
- FLEURY, P.F., 2000b, “Supply Chain Management”. In: *Logística Empresarial*, v. 1, *Coleção COPPEAD de Administração*, Editora Atlas, pp. 38 - 48.
- FLEURY, P.F., 2003, “Gestão estratégica do Transporte”. In: *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos*, v. 1, *Coleção COPPEAD de Administração*, Editora Atlas, pp. 247 - 256.
- FREITAS FILHO, J.P., 2001, *Introdução a Modelagem e Simulação de Sistemas*, 1 ed. Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, Visual Books.
- GAITHER, N., FRAZIER, G., 2002, *Administração da Produção e Operação*, 8 ed. São Paulo, Pioneira Thomson.
- HILLIER, F., S., LIEBERMAN, G., J., 2001, *Introduction to Operations Research*, 7 ed., New York, McGraw-Hill.
- OECD/IEA, 2009, “Total Primary Energy World”. Disponível em : < [www.iea.org/statist/index.htm](http://www.iea.org/statist/index.htm)>. Acesso em 24/05/2010.

- KELTON, W., SADOWSKI, R e SADOWSKI, D., 2002, *Simulation With Arena*, 2 ed., New York, McGraw-Hill.
- KULICK, B., C., SAWYER, J., T., 2000, “The Use of Simulation Modeling for Intermodal Capacity Assessment”, *Winter Simulation Congress*, Orlando, Florida, Estados Unidos, 10 – 13 Dezembro.
- LAW, A M., KELTON, W.D., 1991, *Simulation modeling and analysis*, 2 ed. McGraw-Hill, Singapura.
- MACHADO, D.V.C., 2006, *A Inserção da Simulação Computacional no Planejamento Hierárquico de Cadeias de Suprimento*. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- NAZÁRIO, P., 2000a, “Papel do Transporte na Estratégia Logística”. In: *Logística Empresarial*, v. 1, *Coleção COPPEAD de Administração*, Editora Atlas, pp. 126 - 132.
- NAZÁRIO, P., 2000b, “Intermodalidade: Importância para a Logística e Estágio Atual no Brasil”. In: *Logística Empresarial*, v. 1, *Coleção COPPEAD de Administração*, Editora Atlas, pp. 142 - 152
- PIDD, M., 1996, *Tools for Thinking Modeling in Management Science*, Chechester, Inglaterra, John Wiley & Sons.
- REDDY, R., 1987, "Epistemology of knowledge-based simulation". *Simulation*, v. 48, n. 4, pp. 162-166.
- RODRIGUES, L.H., CASSEL, R.A., PELLEGRIN, I., 2003, “Uma abordagem metodológica para o uso da simulação de eventos discretos no dimensionamento do nível de estocagem de derivados de petróleo em refinarias”. *XXII Encontro Nacional de Engenheiros de Produção - ENGEP*, Ouro Preto, MG, Brasil, 21-24 Outubro.

- SALIBY, E., 1989, *Repensando a Simulação – A Amostragem Descritiva*, 1 ed., Rio de Janeiro, Editora Atlas.
- SALIBY, E., 2003, “Tecnologia da Informação: Uso da Simulação para obtenção de Melhorias em Operações Logísticas”. In: *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos*, v. 1, *Coleção COPPEAD de Administração*, Editora Atlas, pp. 296 - 307.
- SASIKUMAR, M., RAVI PRAKASH, P., *et al.*, 1997, Pipes: a heuristic search model for pipeline scheduling generation. *Knowledge-Based Systems*, v.10, n.3, p. 169-175.
- SHANNON, R.E., 1998, “Introduction to the Art and Science of Simulation”. *Winter Simulation Conference*, Washington, Washington DC, USA.
- SCHUNK, D., PLOTT, B., 2000, “Using Simulation to Analyze Supply Chains”. *Winter Simulation Conference*, Orlando, Florida, USA.
- SLACK, N., CHAMBERS, S., JOHNSTON, R., 2007, *Administração da Produção*, 2 ed. São Paulo, Editora Atlas.
- SOUSA, C. J. N., FERREIRA FILHO, V. J. M., 2010, *Avaliação de uma Rede Duto-Rodoviária de Distribuição de Derivados de Petróleo*, SPOLM 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 12-13 Agosto.
- SOUZA FILHO, E.M., 2007, *Variable Neighborhood (VNS) aplicado ao problema de distribuição dutoviário*. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- SOUZA, M.O., 2008, *Análise da Cadeia de Suprimento de Um Combustível Especial Através da Simulação Computacional*. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

WANKE, P., 2003, “Logística Gerenciamento de Cadeias de Suprimento e Organização do Fluxo de Produtos”. In: FIGUEIREDO, K.F., FLEURY, P.F., WANKE, P., *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos – Planejamento do Fluxo de Produtos e dos Recursos*, 1 ed., capítulo 1, São Paulo, Brasil, Editora Atlas.

ZERBINI, J.E., 2003, *Análise dos Benefícios da Implantação de um Sistema para Gerenciamento Integrado da Cadeia de Suprimento na Distribuição de Combustível*. Dissertação de M.Sc., UFSC, Florianópolis, SC, Brasil.

## APÊNDICES

## A. GLOSSÁRIO

**ANP** - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e B combustíveis é uma autarquia integrante da Administração Pública Federal, vinculada ao Ministério de Minas e Energia. Tem por finalidade promover a regulação, a contratação e a fiscalização das atividades econômicas integrantes da indústria do petróleo, de acordo com o estabelecido na Lei nº 9.478, de 06/08/97, regulamentada pelo Decreto nº 2.455, de 14/01/98, nas diretrizes emanadas do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e em conformidade com os interesses do País, sendo o órgão regulador do setor petróleo, na execução de suas atividades.

**Arena** - Simulador a eventos discretos de uso comercial da *Rockwell Software*.

**Atividade** - É uma seqüência de procedimentos que causa mudança no sistema. A atividade corresponde a um estado ativo, comum a uma ou mais entidades. A duração de uma atividade pode ser determinística ou estocástica. Assume-se que uma atividade é indivisível. Uma vez iniciada, ela não é mais interrompida. Segundo REDDY (1987), as atividades podem ser físicas ou cognitivas. As físicas são as formas convencionais de atividades, em torno das quais a simulação tem sido desenvolvida. As cognitivas são formas de tomada de decisão racional e inteligente. Da mesma forma que as atividades físicas, as atividades cognitivas possuem tempo finito de duração, que pode ser aleatório ou dependente das informações e/ou decisões do sistema.

**Atributos** - São as propriedades que caracterizam cada entidade. Os atributos possuem escopo local, ou seja, cada entidade possui um conjunto particular de valores para seus atributos.

**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.

**Cenário** - Uma configuração estruturada de parâmetros (dados de entrada) e de entidades do sistema. Pode-se construir vários cenários para testar várias hipóteses.

**Corrida** - Também chamada de rodada, é o intervalo de tempo compreendido entre o início e o fim da replicação.

**Derivados de Petróleo** - Produtos decorrentes da transformação do petróleo.

**Distribuição** - Atividade de comercialização por atacado com a rede varejista ou com grandes consumidoras de combustíveis, lubrificantes, asfaltos e gás liquefeito envasado, exercida por empresas especializadas, na forma das leis e regulamentos aplicáveis. A atividade de distribuição compreende a aquisição, armazenamento, transporte, comercialização e o controle de qualidade dos combustíveis líquidos derivados de petróleo, álcool combustível e outros combustíveis automotivos.

**Distribuidora** - Agente cuja atividade caracteriza-se pela aquisição de produtos a granel e sua revenda a granel (por atacado) para a rede varejista ou grandes consumidores (vide Distribuição).

**Downstream** Atividades de refino do petróleo bruto, tratamento do gás natural, transporte e comercialização/distribuição de derivados.

**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).

**Entidade** - É um elemento essencial para o modelo. Cada tipo de entidade (pessoa, objeto ou informação) possui um ciclo de vida, onde estados ativos e passivos se alternam. Uma entidade pode ser classificada como temporária ou permanente. As entidades temporárias entram no sistema, percorrem o seu ciclo de vida e o abandonam. As entidades permanentes executam a sua função sem abandonar o sistema. A chegada de entidades é gerada por um procedimento externo de acordo com a necessidade imposta pelo estado do sistema. Na visão da simulação discreta convencional, as entidades temporárias são criadas primeiro. Elas participam de atividades e requisitam recursos. Uma vez terminada a atividade, a entidade é removida (COSTA, 2004).

**Eventos** - As atividades são iniciadas e terminadas por eventos. Eventos são instantes no tempo, enquanto atividades possuem durações no tempo. Evento é o ponto no tempo no qual acontece alguma mudança no sistema modelado. O processamento de um evento é realizado por uma rotina. Normalmente a ocorrência de um evento dispara a ocorrência de outros eventos. Da mesma forma que as atividades, os eventos podem ser físicos ou cognitivos. As rotinas associadas aos eventos físicos são análogas às rotinas dos eventos tradicionais da simulação discreta. Os eventos cognitivos envolvem processamento de conhecimento, análogo ao procedimento cognitivo desempenhado pelo tomador de decisão. Rotinas de eventos cognitivos irão conter conhecimentos, representados por regras de produção e heurísticas, que serão processados quando uma decisão precisar ser tomada (REDDY, 1987).

**Filas** - São locais de espera onde as entidades dinâmicas aguardam sua vez de seguir através do sistema. As filas podem ser chamadas de áreas de espera ou pulmões (*buffers*). Depois de dar entrada na fila a entidade é retirada seguindo algum tipo de critério, por exemplo, FIFO (*First In First Out*), LIFO (*Last In Last Out*), HVF (*Highest Value First*), LVF (*Lowest Value First*) ou um critério aleatório.

**Gasolina** - Produto refinado do petróleo, onde a faixa de destilação se situa normalmente entre 30° e 220°C e que, combinado ou não com certos aditivos, é utilizado como combustível em motores de ignição por centelha.

**GLP** - Gás liquefeito de petróleo

**Indústria do Petróleo** - Conjunto de atividades econômicas relacionadas com a exploração, desenvolvimento, produção, refino, processamento, transporte, importação e exportação de petróleo, gás natural e outros hidrocarbonetos fluidos e seus derivados.

**Modelo** - É a representação de um sistema. Existem várias formas de se classificar modelos. COSTA (2001), apresenta uma explanação sintética, segundo a qual os modelos são tipificados como icônicos (representação fiel do sistema, geralmente em escala diferente da real), analógicos (as propriedades do sistema são representadas por outras equivalentes) e simbólicos (as propriedades do sistema são representadas por símbolos). Outro tipo de classificação separa os modelos em estáticos e dinâmicos. Os



modelos estáticos não consideram explicitamente a variável tempo e são, normalmente, tratados por técnicas analíticas. Os modelos dinâmicos tratam com interações que se alteram no tempo (o estudo do sistema em um certo instante interfere no estado do sistema no instante seguinte). Também existe uma caracterização importante para os modelos, que diz respeito às situações discreta e contínua. Um modelo discreto sofre alterações repentinas no tempo. As mudanças no estado do sistema são expressas em termos do estado do sistema no início do período. As mudanças durante um intervalo de tempo são calculadas e é deduzido um novo estado do sistema para o final deste período e início do seguinte. Um modelo contínuo sofre constantes e suaves alterações no tempo. Uma situação bastante comum é tratar um sistema contínuo como sendo uma seqüência de pequenas alterações discretas no tempo. Por fim, também são diferenciados os modelos determinísticos dos estocásticos. Os modelos determinísticos não tratam variáveis aleatórias e envolvem relações funcionais exatas. Quando pelo menos uma variável do sistema recebe valores segundo uma distribuição probabilística, diz-se tratar de um modelo estocástico (COSTA, 2004).

**OSBRA** - Oleoduto de claros que interliga a REPLAN em Paulínia aos terminais de Ribeirão Preto, Uberaba, Uberlândia, Goiânia e Brasília.

**Parque** - Conjunto de depósitos numa mesma área. Há parques de um ou mais tanques.

**Petróleo** - Todo e qualquer hidrocarboneto líquido em seu estado natural, a exemplo do óleo cru e condensado.

**Poliduto** - Designação genérica de instalação constituída por tubos ligados entre si, destinada à movimentação seqüencial de vários derivados líquidos de petróleo.

**Produto claro** - Termo convencional aplicado a produtos de petróleo líquido, incolores ou levemente coloridos, tais como aguarrás, gasolina e querosene.

**Recertificação de produtos** – Conjunto de procedimento para realizar análises laboratoriais em amostras de produtos retiradas de tanques dos terminais do OSBRA para atestar a qualidade do produto.

**Recurso** - É uma entidade estática do modelo que atende entidades dinâmicas. Esse atendimento pode ser feito simultaneamente a várias entidades. Uma entidade pode solicitar parte da capacidade ou a capacidade total do recurso (TORRES, 2001).

**Relógio** - É uma variável que marca o tempo da simulação.

**REPLAN** - Refinaria de Paulínia, inaugurada em 1972 na cidade de Paulínia / SP.

**Replicação** - É a execução do modelo no computador.

**Stockout** - Falta de produto no estoque.

**Tarifa Horosazonal** - Tarifas diferenciadas para consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e dos períodos do ano.

**Tanque de Armazenamento** - Reservatório especialmente construído para acumulação de petróleo ou seus derivados.

**Terminal** - Conjunto de instalações utilizadas para o recebimento, expedição e armazenagem de produtos da indústria do petróleo. Pode ser classificado como marítimo, fluvial ou terrestre.

**Terminal de Distribuição** - É a instalação com as facilidades necessárias ao recebimento, armazenamento, mistura, embalagem e distribuição, em uma dada área do mercado, de derivados de petróleo.

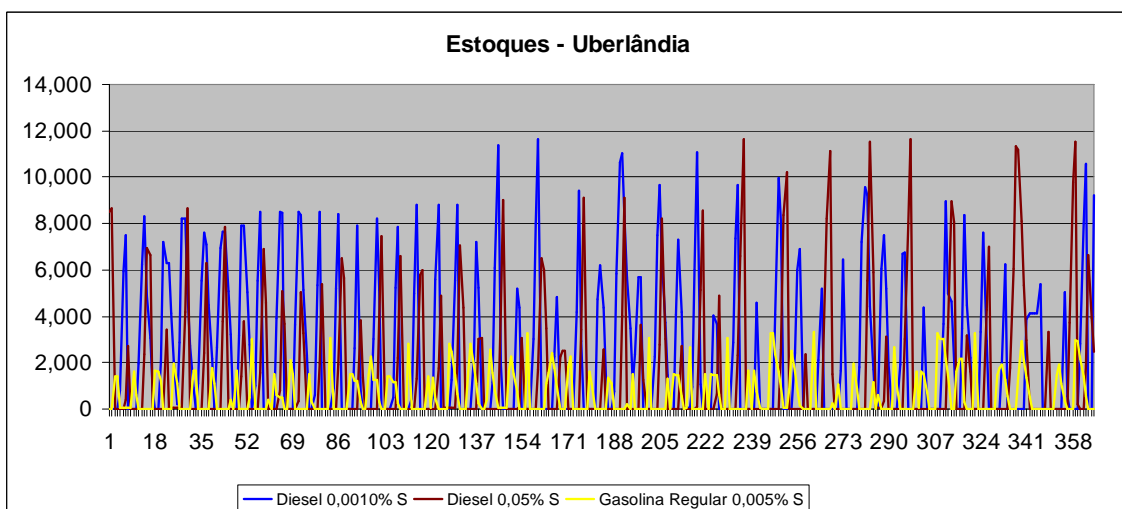
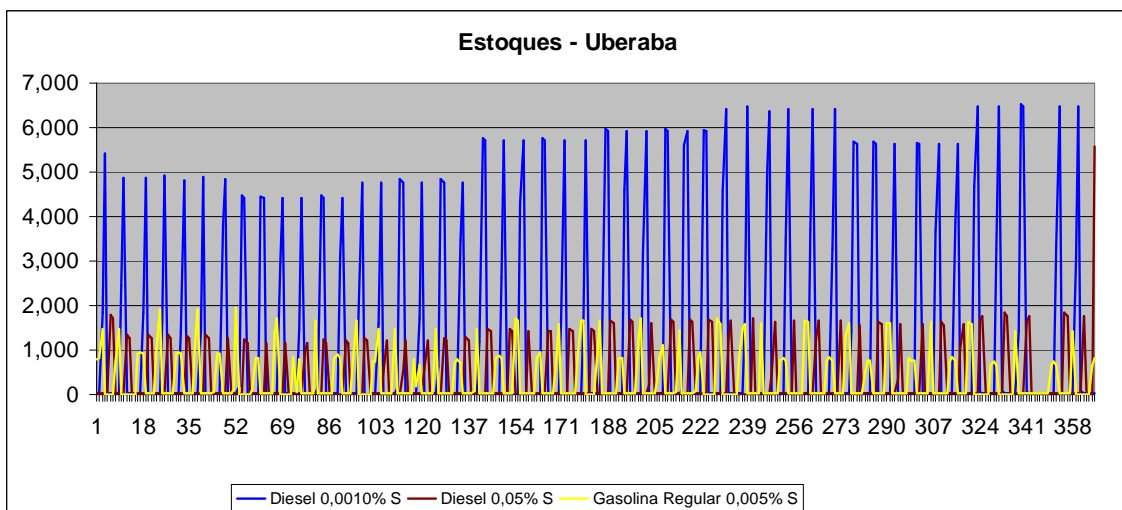
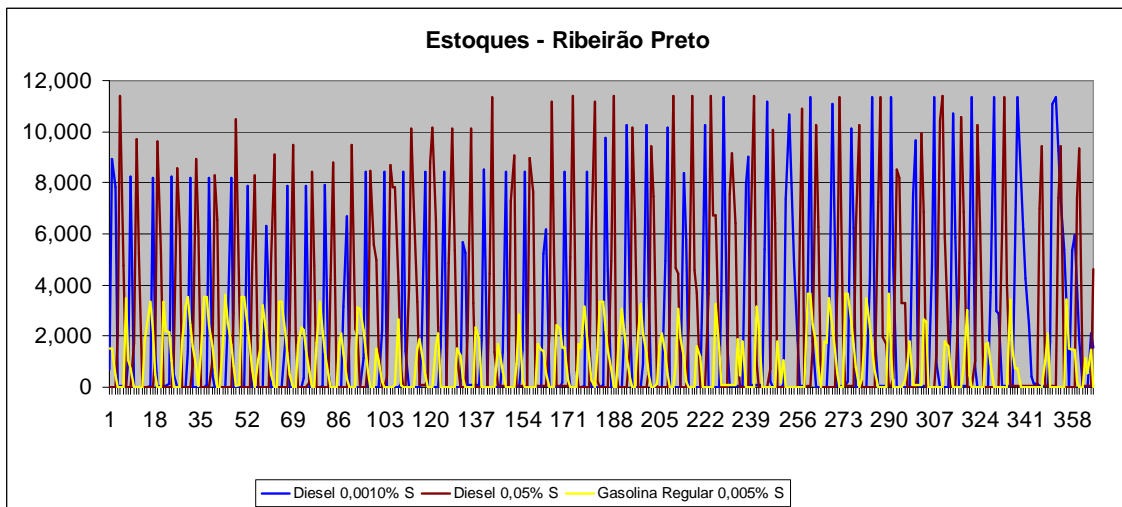
**Unidade de Processo** - Diferentes locais na refinaria onde ocorrem os processos de refino, sendo compostas por um conjunto de equipamentos responsáveis por uma etapa do refino.

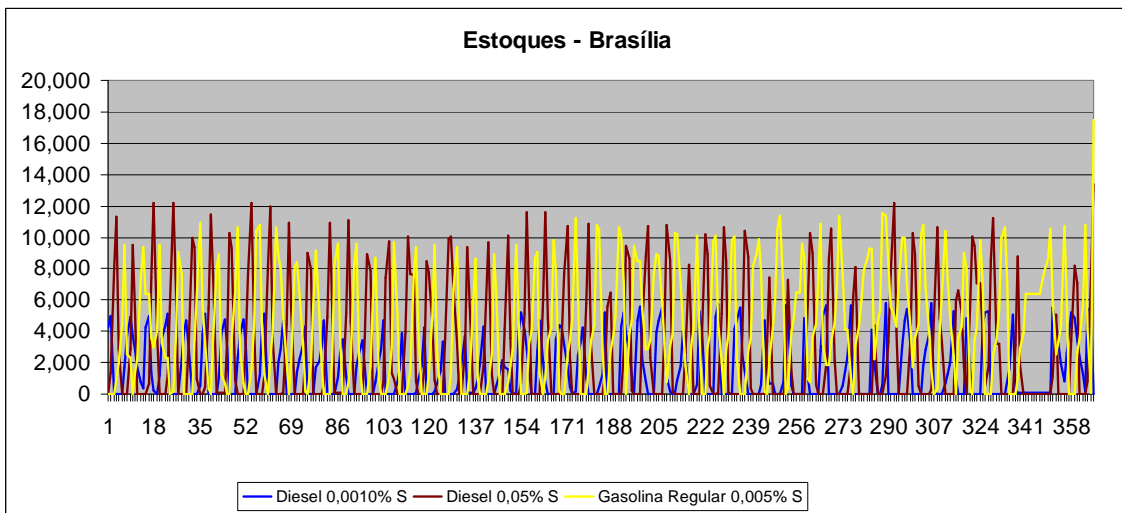
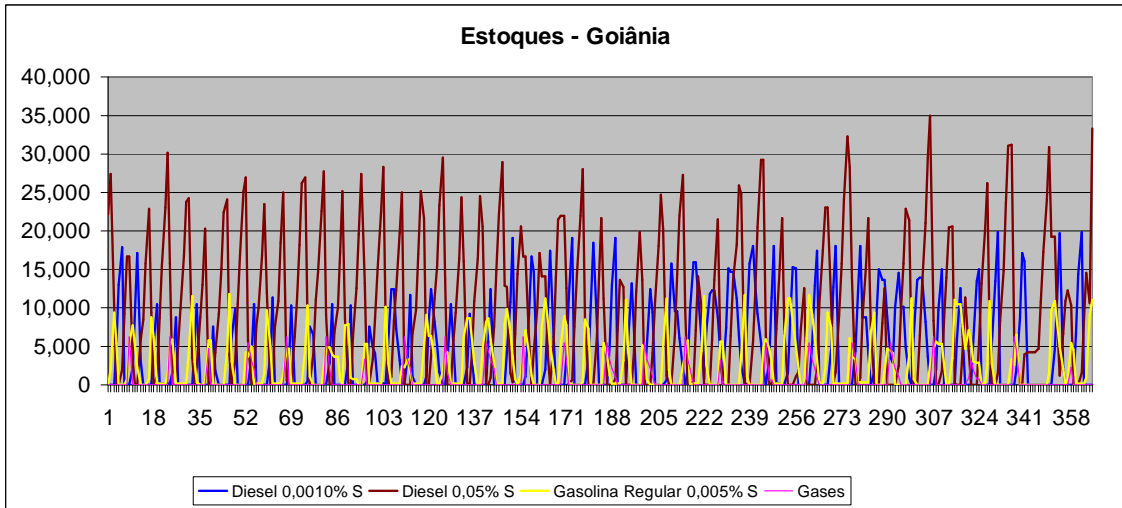
**Variáveis de Estado** - É o conjunto de variáveis que identificam o estado do sistema em um determinado instante de tempo. Segundo FREITAS FILHO (2001), as variáveis de estado constituem o conjunto de informações necessárias à compreensão do que está

ocorrendo no sistema num determinado instante no tempo, com relação aos objetos de estudo.

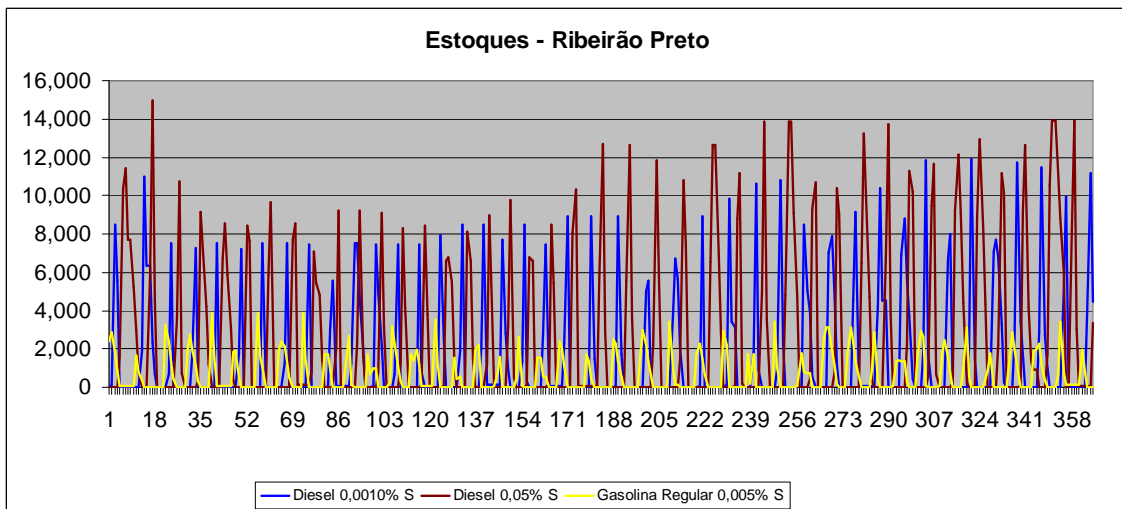
## B. VARIAÇÃO DOS ESTOQUES NOS TERMINAIS

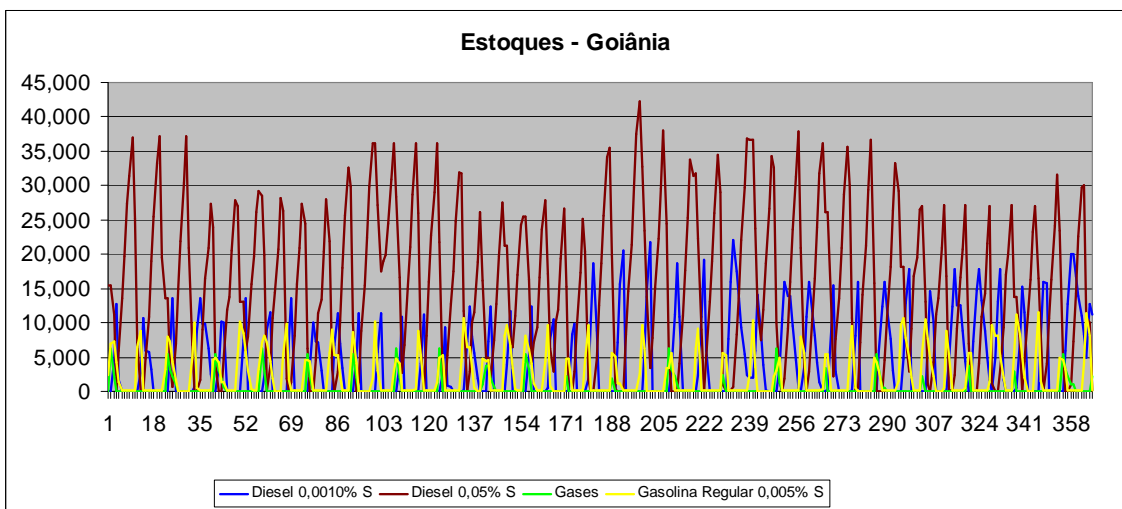
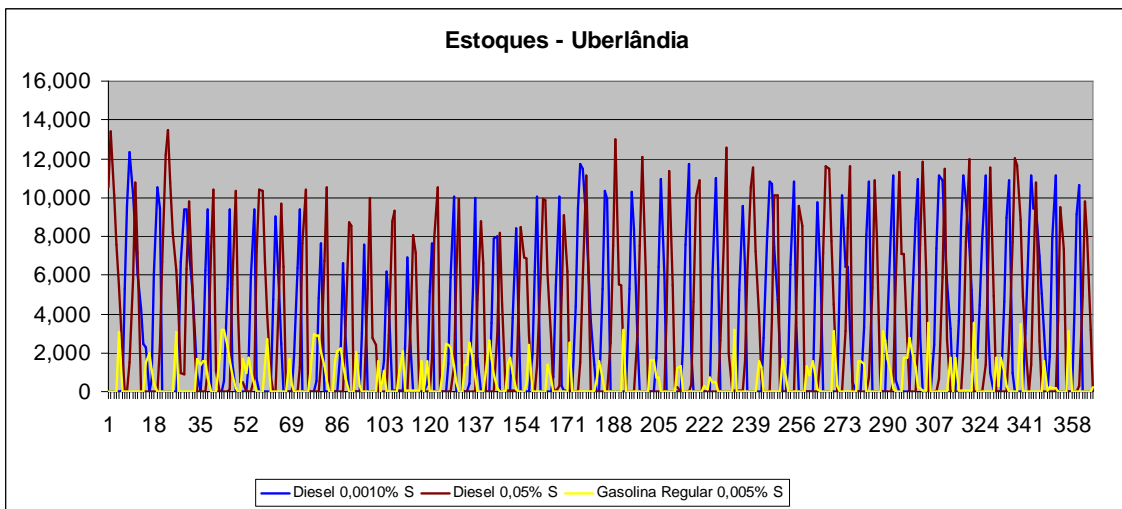
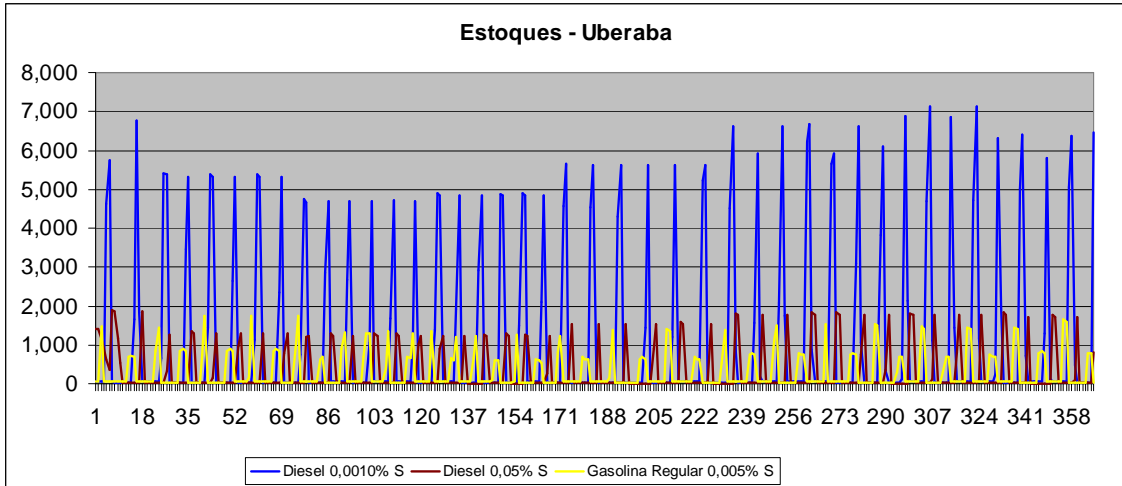
### B.1. Cenário I – Variação dos estoques ao longo do tempo de simulação

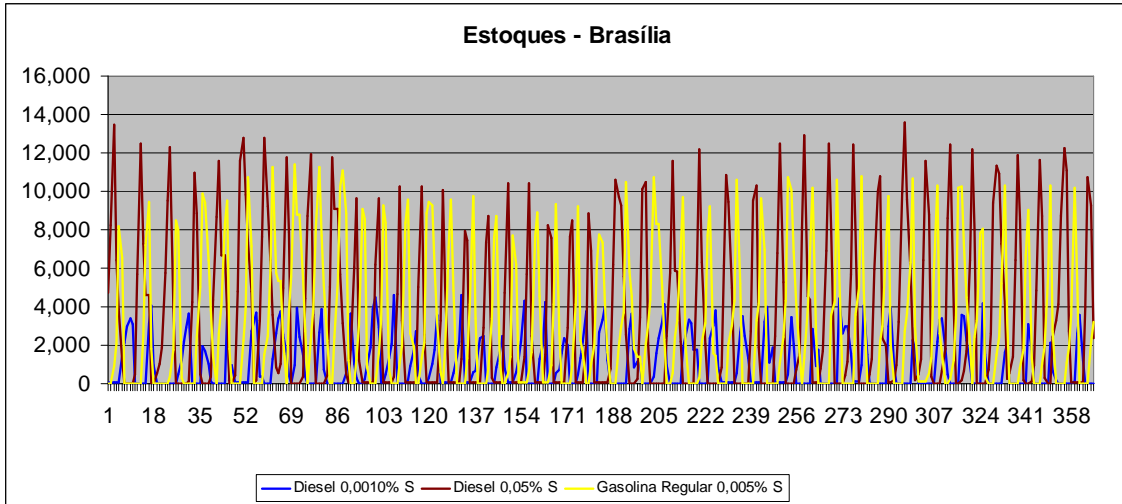




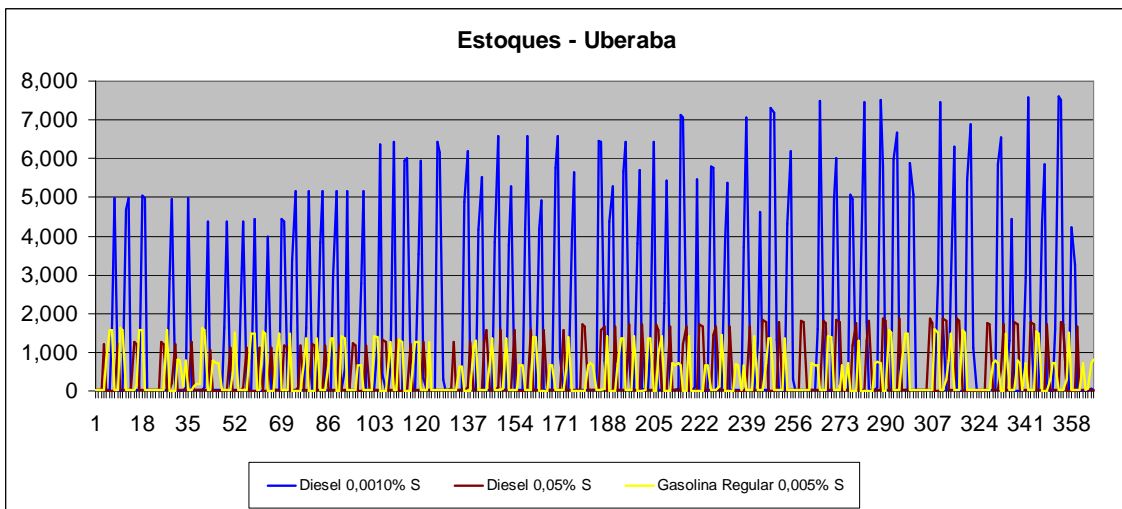
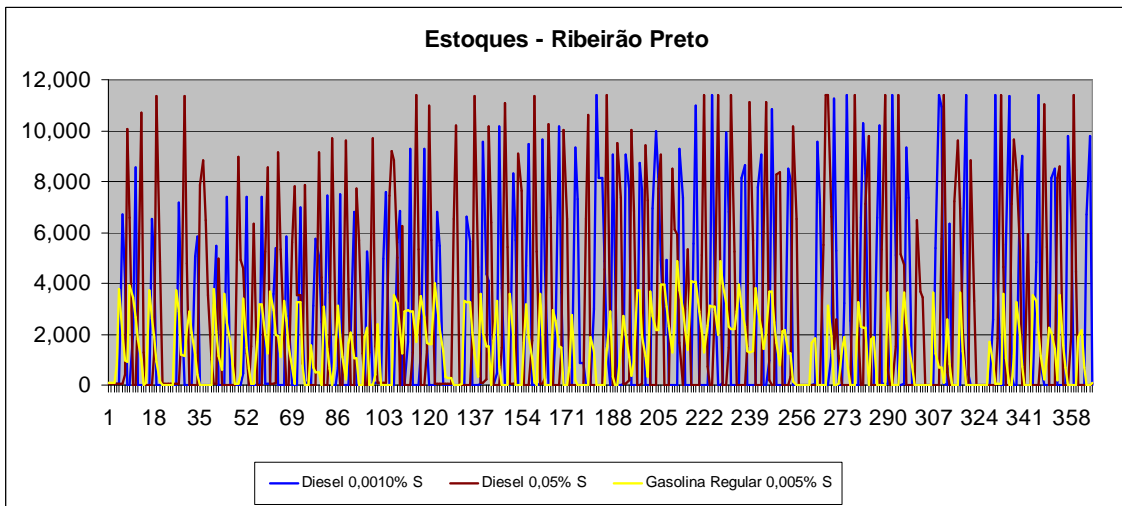
## B.2. Cenário II – Variação dos estoques ao longo do tempo de simulação

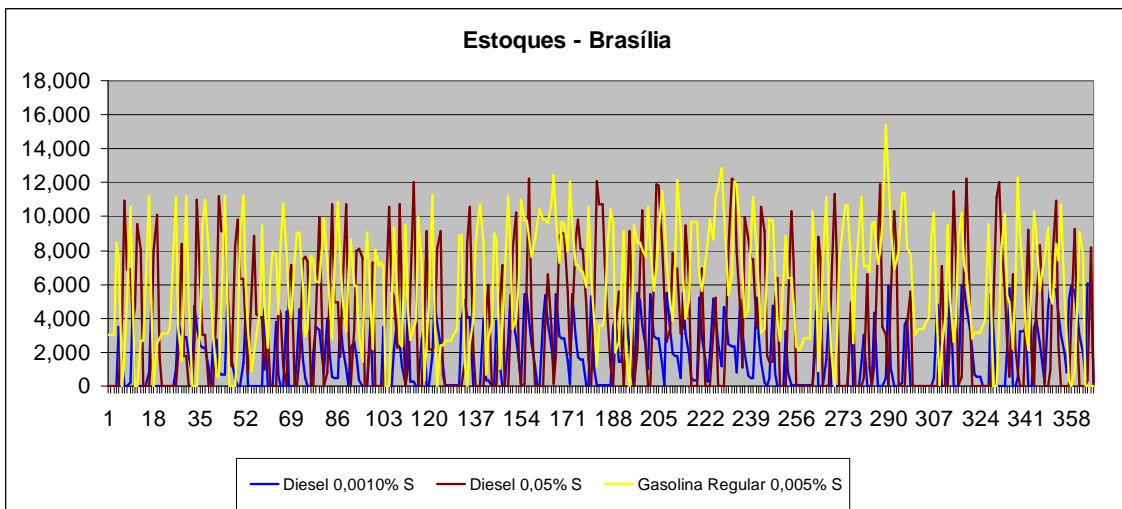
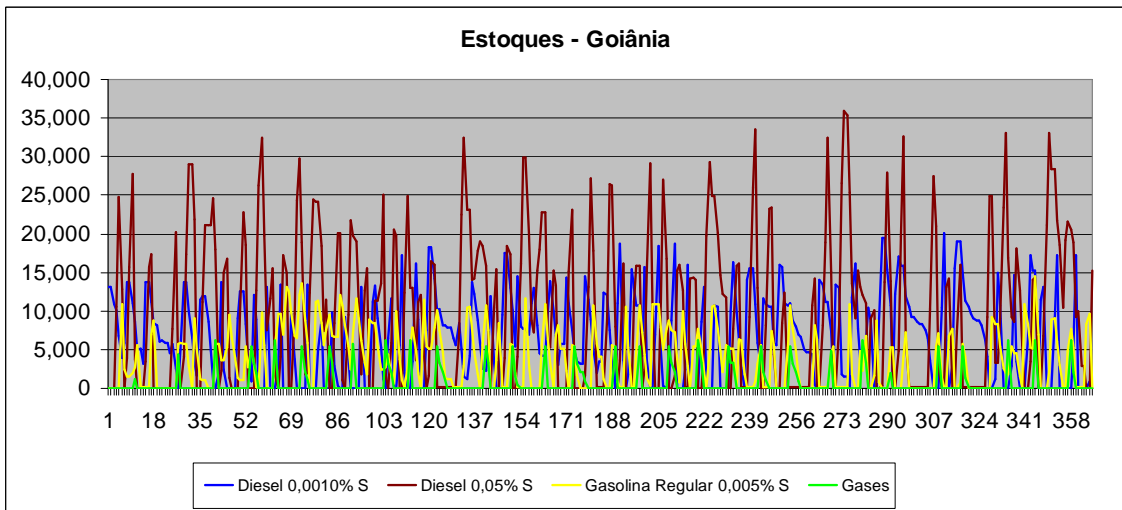
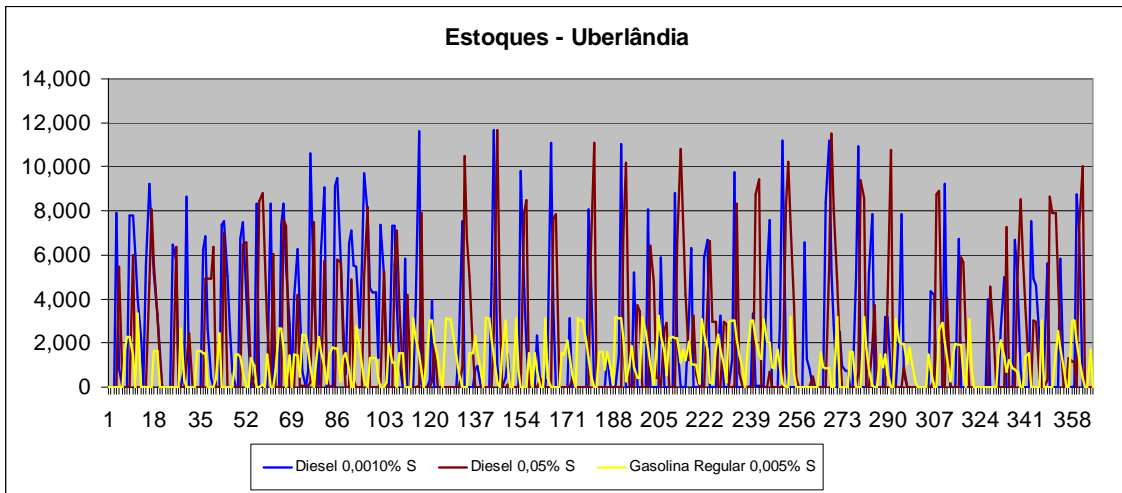






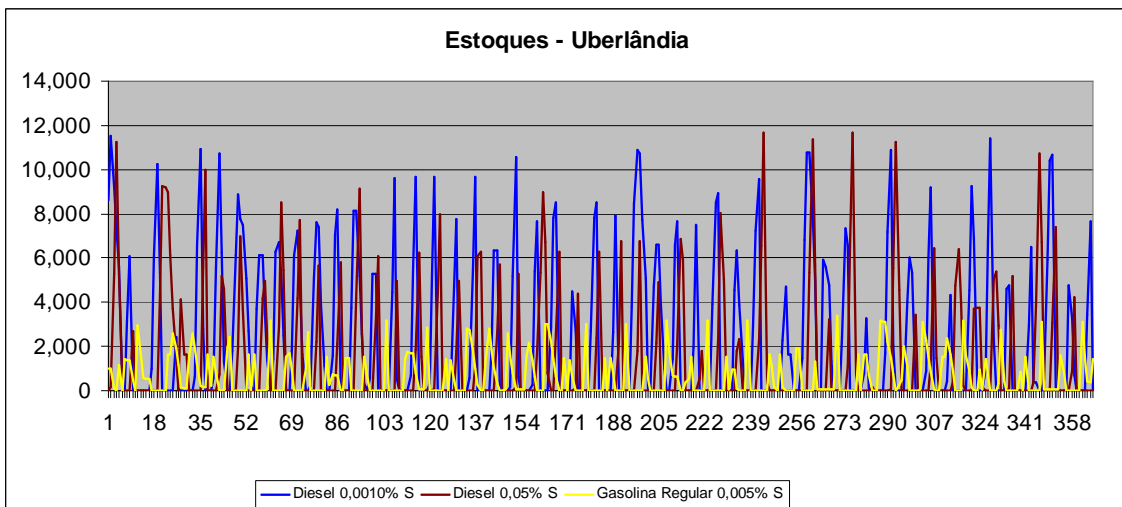
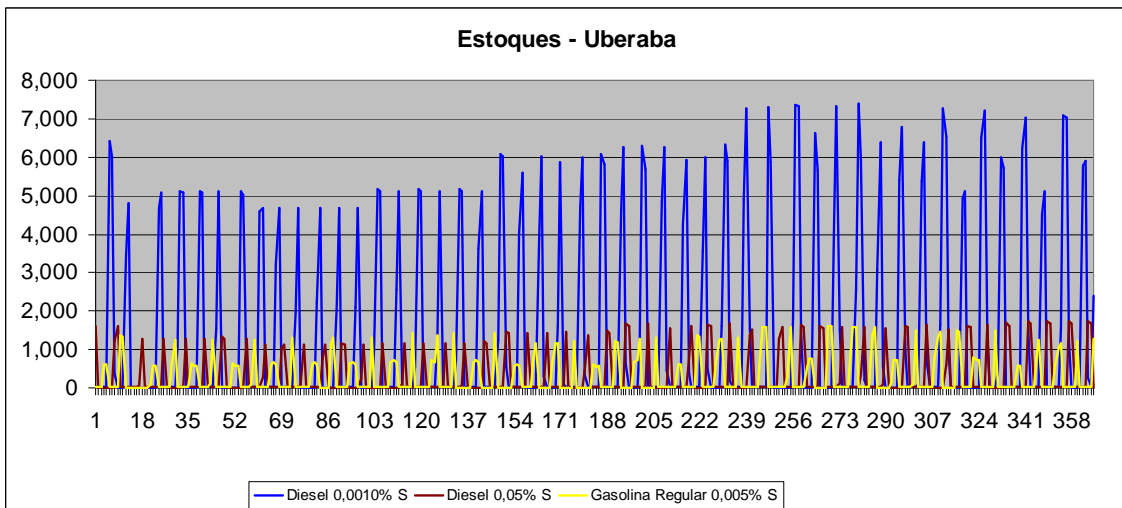
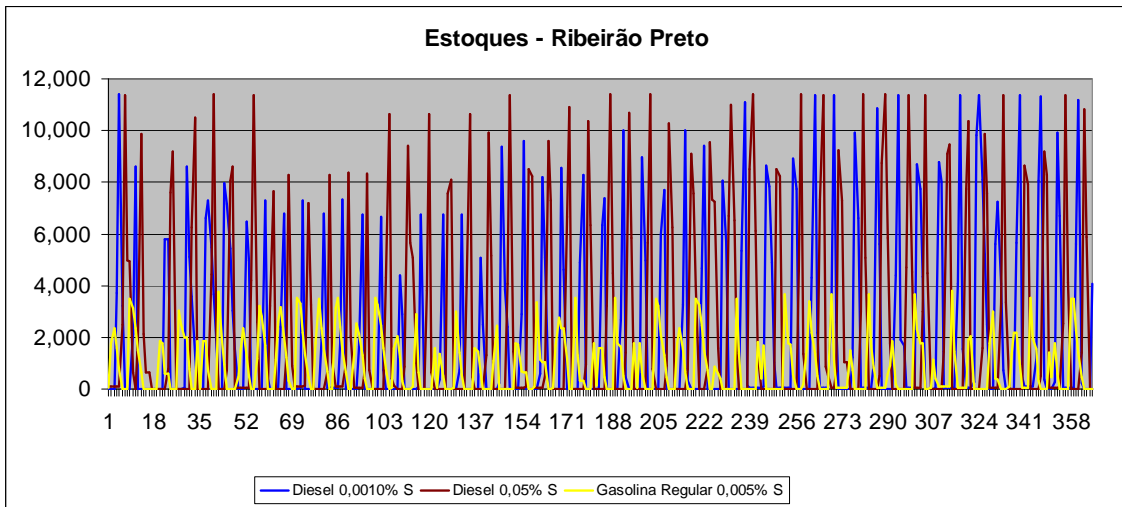
**B.3.Cenário III – Variação dos estoques ao longo do tempo de simulação**

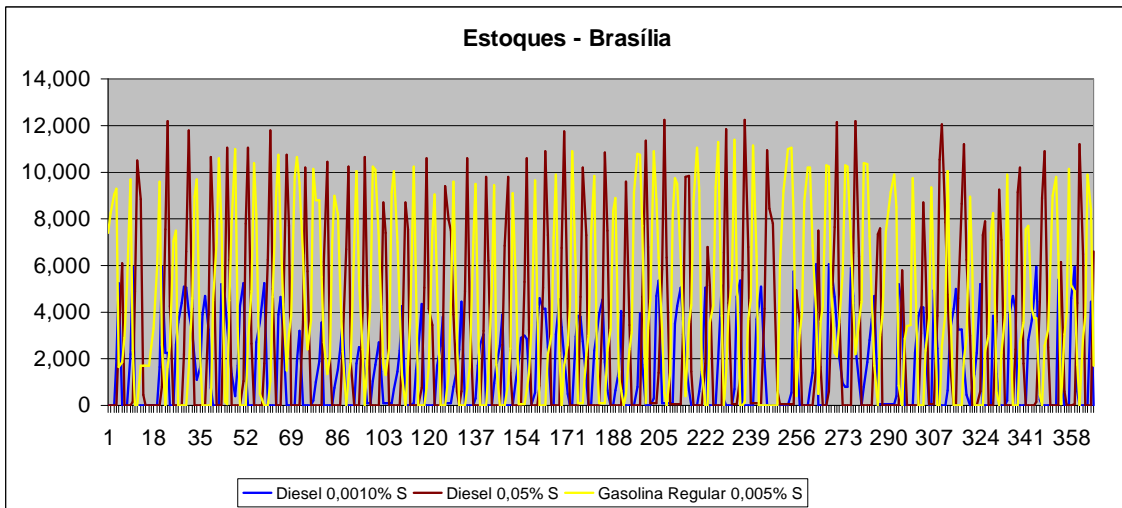
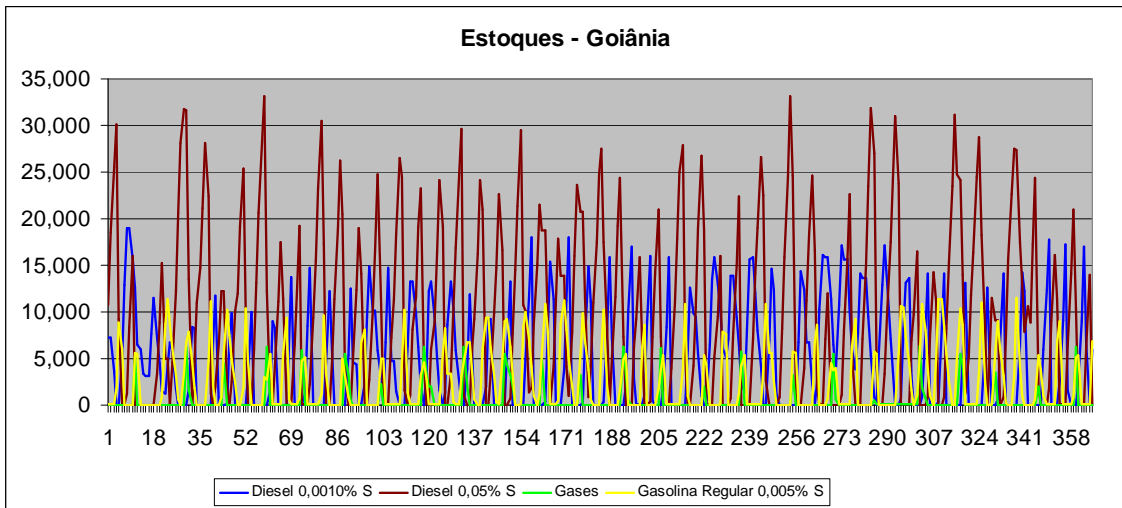




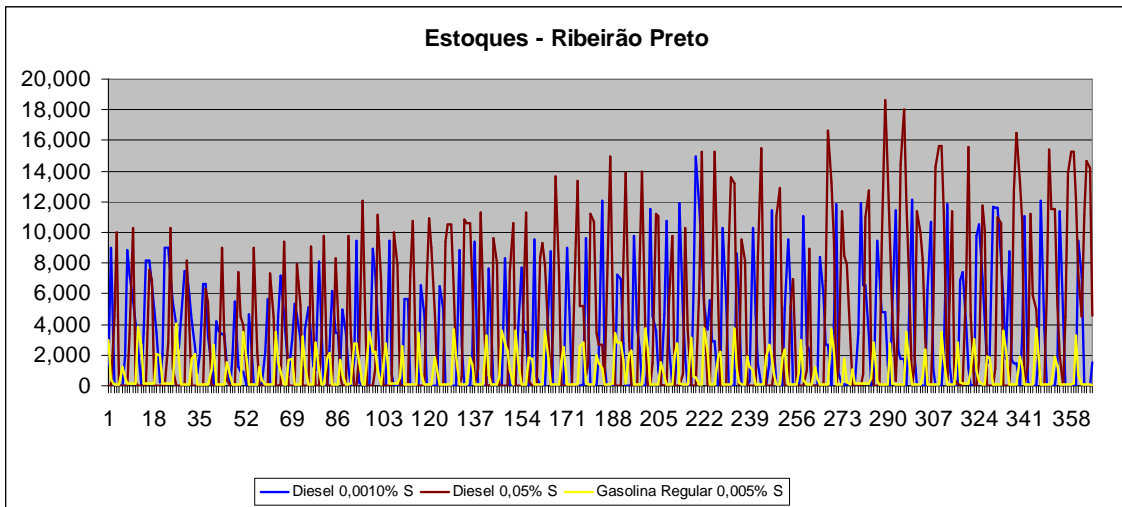


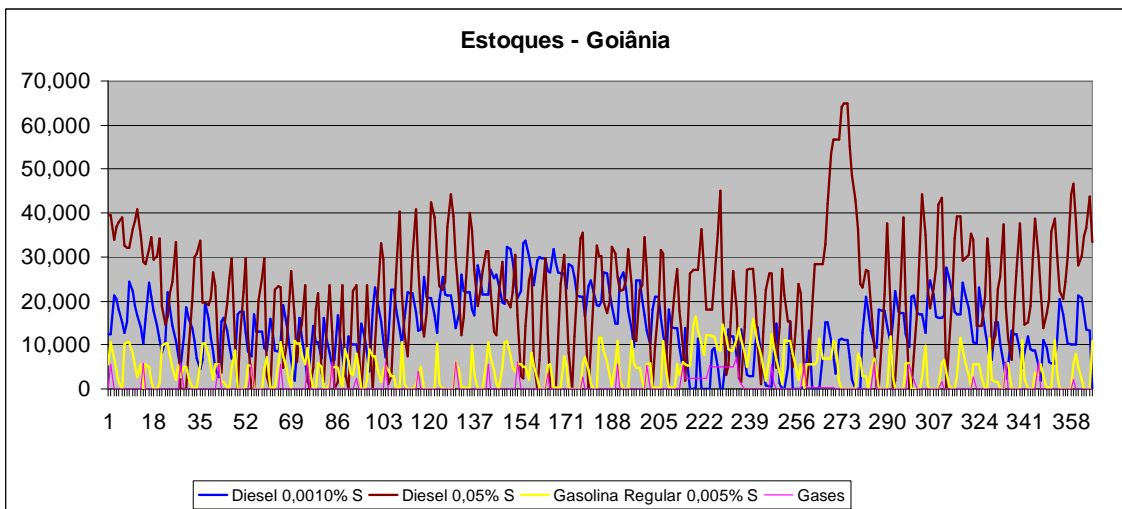
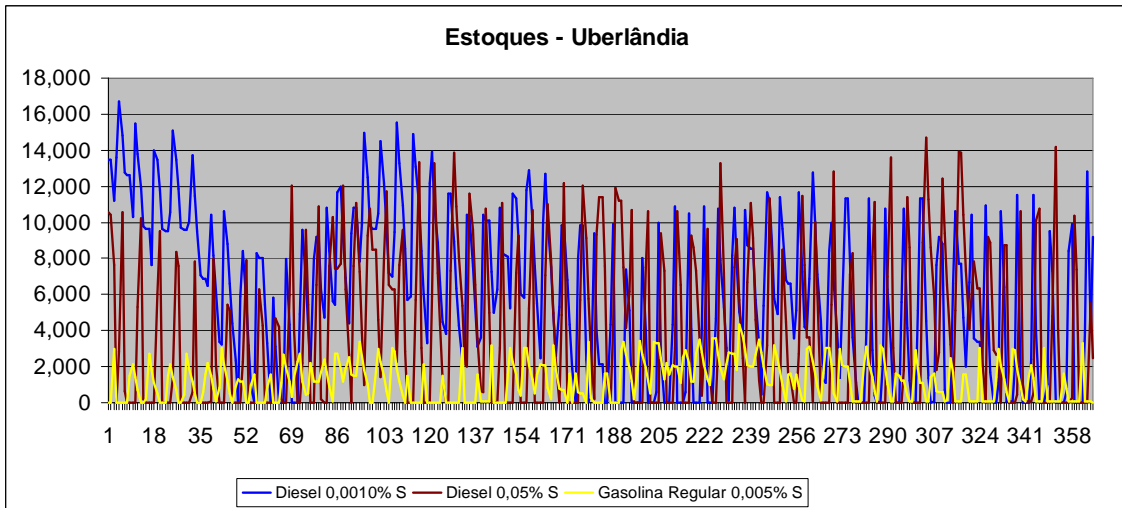
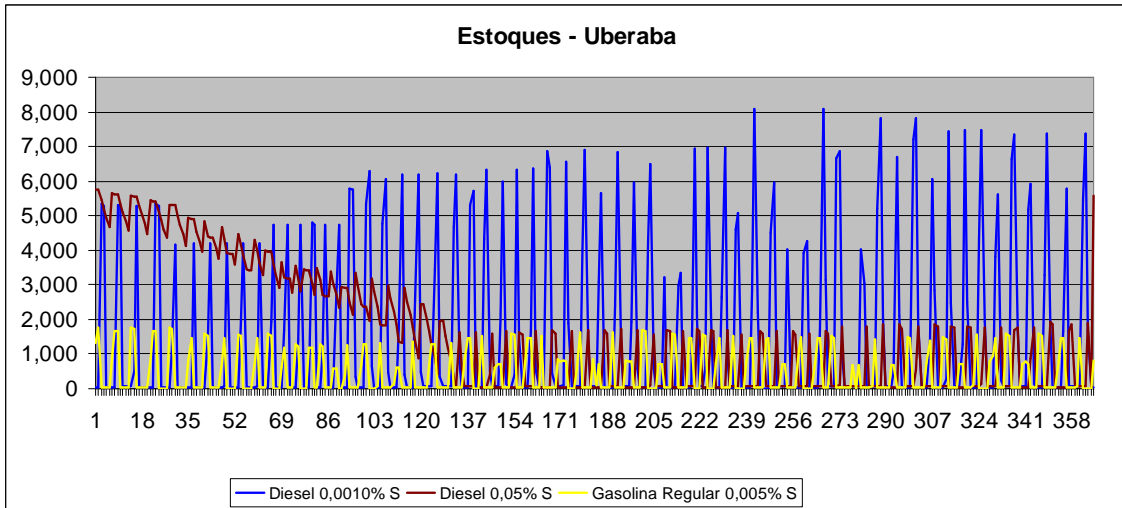
#### B.4.Cenário IV – Variação dos estoques ao longo do tempo de simulação

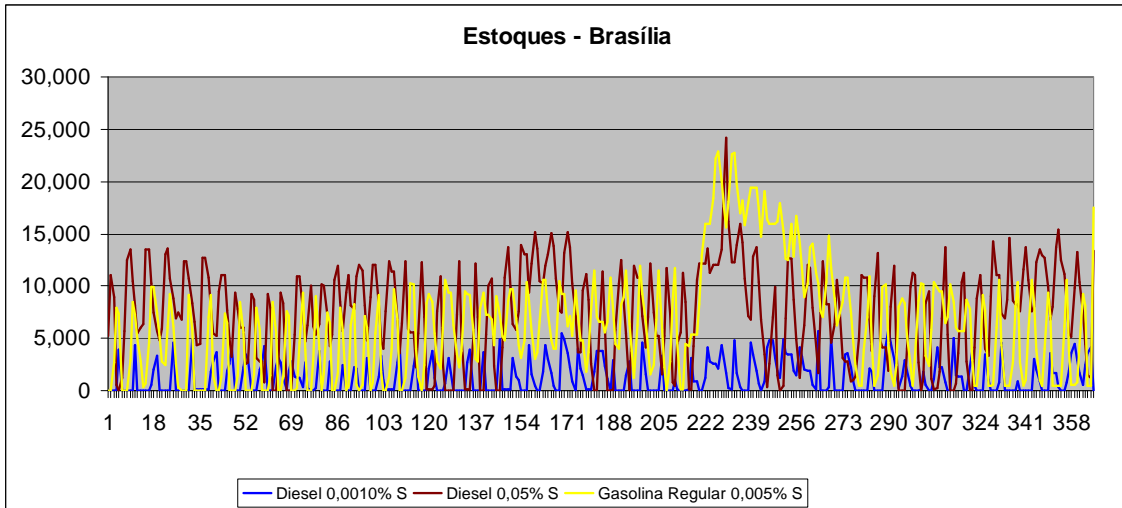




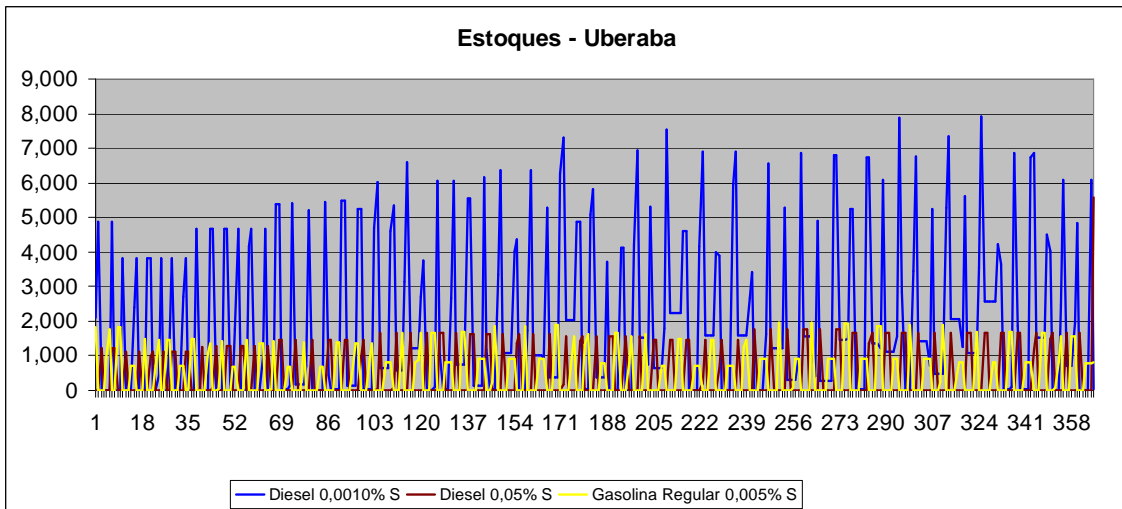
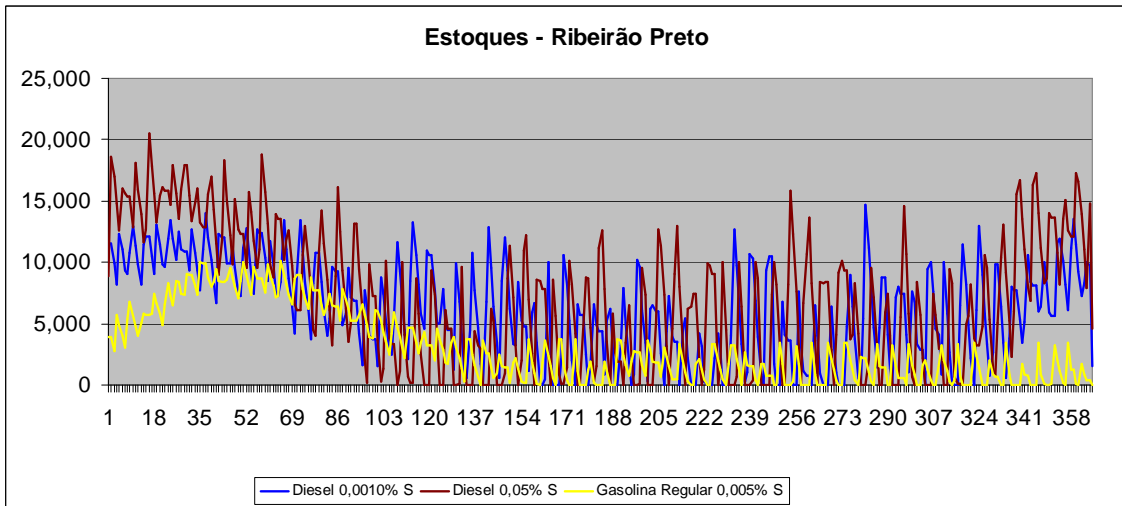
**B.5.Cenário V – Variação dos estoques ao longo do tempo de simulação**

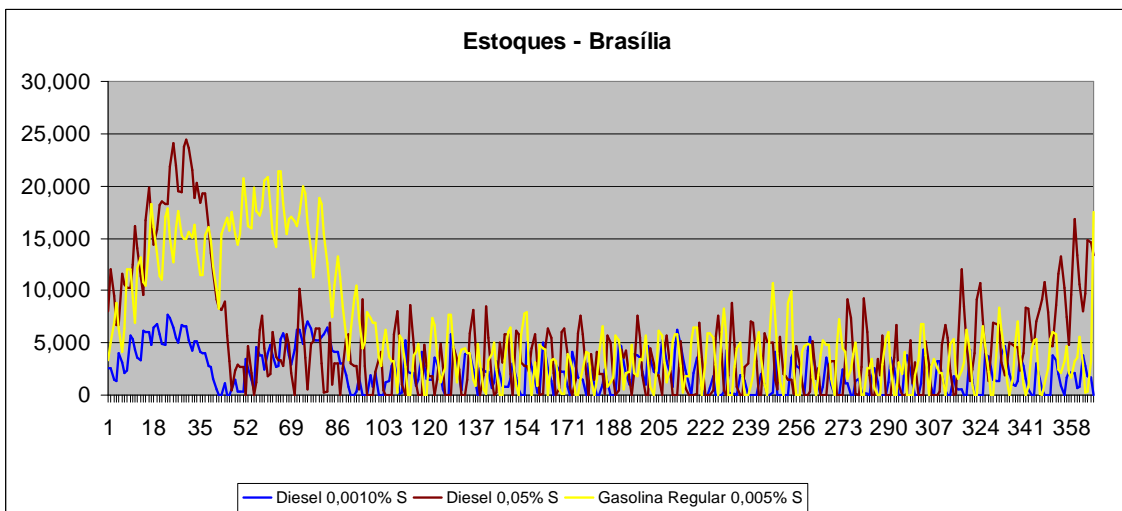
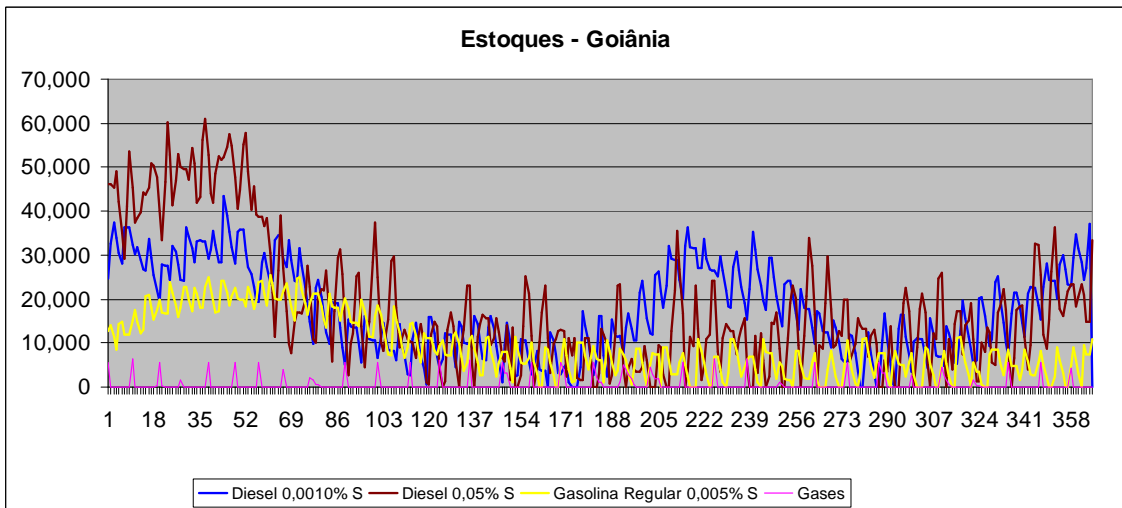
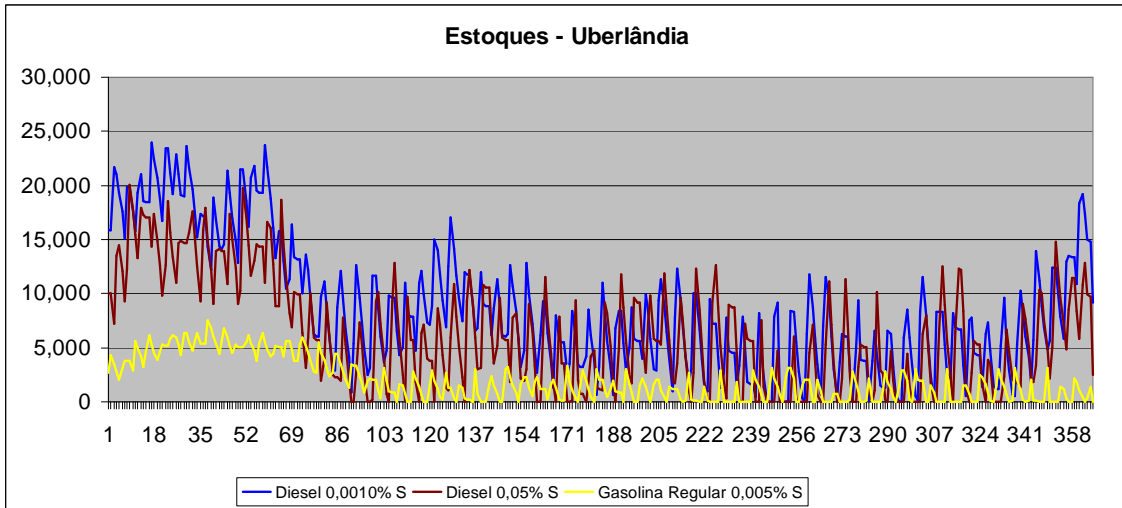






**B.6.Cenário VI – Variação dos estoques ao longo do tempo de simulação**





## B.7.Cenário VII – Variação dos estoques ao longo do tempo de simulação

