

Claudio Rodrigo Macedo Dias

**Programação da planta de GLP em uma refinaria da
PETROBRAS**

**Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo para a obtenção do Diploma de
Engenheiro de Produção**

Orientador:

Prof. Dr. Marco Aurélio de Mesquita

São Paulo

2004

TF-2004
543P

*A meu pai,
que me ensinou o valor
do trabalho e do conhecimento*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Marco Aurélio de Mesquita, pela paciência e dedicação na orientação deste trabalho.

À PETROBRAS

Às engenheiras Rosa e Ivana e aos engenheiros Wagner, Edwin, Rubens, Rafael, Camolesi, Piveta, Roberto, Fernando, Tibério, Scofield, Fialho, Dias, Mário, Herval e Katata e toda a equipe da gerência de otimização da REVAP, por fornecerem informações e ajuda.

Ao ex-diretor gerente de Abastecimento-Refino Eider de Aquino pela viabilização do estágio.

À minha namorada, Marceli, pelo companheirismo, amor e carinho, que me deram forças nos momentos de dificuldade.

À minha família, Edson, Eunice, Patricia, Alessandra e Pollyanna, pela força e compreensão ao longo desse ano.

Aos meus amigos, pela compreensão da minha ausência.

RESUMO

O foco deste trabalho foi o desenvolvimento de uma ferramenta de programação de produção que pudesse ser inserida na rotina de programação de uma refinaria de petróleo. Para isso, foi escolhida uma pequena unidade da REVAP, a mais nova refinaria da PETROBRAS.

No primeiro capítulo foi descrito a empresa, a refinaria, os processos de produtivos e de planejamento, controle e programação de produção, dando maior ênfase para a planta de GLP. O sistema escolhido para o desenvolvimento do modelo de otimização da programação tem como entrada o GLP produzido pelas unidades principais da refinaria (UDAV e UFCC) e como saída propano intermediário, GLP e butano intermediário.

As decisões tomadas pelo programador de produção nessa unidade são: qual o modo de operação a unidade está operando em cada instante de tempo e qual o cronograma de expedição da mistura de GLP e butano intermediário para os clientes locais, bem como sua composição.

Foi desenvolvido um modelo de otimização baseado em programação não-linear inteira mista (NLMIP), utilizando a metodologia clássica de Pesquisa Operacional, na qual define-se o problema, coleta-se dados, observa-se o sistema, concebe-se o modelo matemático e computacional, testa o modelo desenvolvido, gera-se soluções, escolhe a mais adequada e apresenta os resultados.

O modelo desenvolvido passou por todos os passos citados acima e apresentou uma boa solução para o exemplo proposto.

E finalmente, o modelo foi processado para um novo cenário a fim de verificar sua validade como ferramenta sistemática para o programador de produção de refinarias.

ABSTRACT

The focus of this work was the development of a production scheduling tool, that can use in the refinery scheduling routine. For this, was choosen a small process unit of the REVAP, the younger PETROBRAS' refinery.

In the first chapter was described the company, the refinery, productions process and the production planning, control and scheduling process, with more emphasis for the LPG plant. The system choosed to de development of the scheduling otimization method has as enter the LPG from the mains units of the refinery (UDAV e UFCC) and as exit intermediate propane, LPG and intermediate butane.

The decisions make by the prodution scheduler on this unit are: which's the unit operation mode in each moment of time and what's the expedition sequence of the GLP and intermediate butane blend for the local customers, as well the blend composition.

Was development a otimization model based in non-linear mixed integer (NLMIP) programming, utilizing the classical operation research methodology, in wich we define the problem, colect datas, observe the system, conceive the mathematical and computer model and, testify the model, originate solutions, chosse the more adequated and present the results.

The model developed have passed by every steps above mentioned and presented a good solution for the proposed example.

And finaly, the model was processed for a new set to verify its validity as systematics tool for the refinery production scheduler.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SIGLAS

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 A indústria do petróleo | 1 |
| 1.2 Apresentação da empresa | 3 |
| 1.3 Produtos e processos de suprimento e distribuição..... | 7 |
| 1.3.1 Produtos | 7 |
| 1.3.2 Recebimento e Armazenamento | 9 |
| 1.3.3 Escoamento da Produção | 11 |
| 1.4 Descrição dos processos de produção | 12 |
| 1.4.1 UDAV – Unidade de destilação atmosférica e a vácuo..... | 13 |
| 1.4.2 UDASF – Unidade de desasfaltação a propano | 14 |
| 1.4.3 UFCC – Unidade de craqueamento catalítico fluido..... | 15 |
| 1.4.4 UGLP – Unidade de GLP | 16 |
| 1.5 Planejamento, Programação e Controle da Produção | 17 |
| 1.5.1 Planejamento da Produção..... | 19 |
| 1.5.2 Programação e Controle da produção..... | 20 |
| 1.5.3 Programação da UGLP | 22 |
| 1.6 Formulação do Problema..... | 24 |

| | |
|--|----|
| 1.7 O estágio | 29 |
| 1.8 Objetivos do Trabalho | 29 |
| 1.9 Abrangência do Trabalho | 29 |
| 1.10 Relevância do Trabalho | 30 |
| 1.11 Estrutura do trabalho | 30 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 31 |
| 2.1 Teoria Clássica de Programação da Produção (Scheduling) | 31 |
| 2.2 Programação da Produção de Derivados de Petróleo..... | 33 |
| 2.2.1 Métodos de solução para o <i>scheduling</i> em refinarias | 36 |
| 2.2.2 Métodos de solução para a programação de UGLP | 38 |
| 3 DESENVOLVIMENTO DE SOLUÇÃO PARA O SISTEMA DE GLP DA REVAP | 40 |
| 4 PROGRAMAÇÃO OTIMIZADA DA UNIDADE DE GLP DA REVAP | 48 |
| 4.1 Software Utilizado | 48 |
| 4.2 Dados de Entrada | 50 |
| 4.3 Resultados obtidos | 52 |
| 4.4 Teste de validação do modelo..... | 56 |
| 4.5 Validação do modelo como ferramenta de scheduling da UGLP..... | 64 |
| 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... | 70 |
| REFERÊNCIAS | 72 |
| ANEXOS..... | 74 |
| Anexo A – Representação do modelo proposto no Excel – Exemplo de aplicação | 74 |

| | |
|---|----|
| Anexo B – Relatório de saída do WHAT’S BEST! – exemplo de aplicação | 76 |
| Anexo C – Relatório de resposta do WHAT’S BEST! – exemplo de aplicação..... | 78 |
| Anexo D – Relatório de saída – APTG..... | 83 |
| Anexo E – Relatório de resposta – APTG..... | 85 |
| Anexo F – Relatório de saída – ACU..... | 90 |
| Anexo G – Relatório de resposta – ACU | 92 |
| Anexo H – Relatório de status – Novo período..... | 97 |
| Anexo I – Relatório de resposta – Novo período | 99 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.1 Cadeia produtiva da indústria do petróleo..... | 3 |
| Figura 1.2 Organograma da PETROBRAS..... | 5 |
| Figura 1.3 Refinarias da PETROBRAS no Brasil..... | 6 |
| Figura 1.4 Perfil de produção da PETROBRAS | 6 |
| Figura 1.5 Perfil de produção da REVAP | 10 |
| Figura 1.6 Rede de dutos da região utilizados pela REVAP..... | 11 |
| Figura 1.7 Processo básico de produção | 13 |
| Figura 1.8 Fluxograma geral da unidade de GLP na REVAP..... | 18 |
| Figura 1.9 Organograma da REVAP | 19 |
| Figura 1.10 Fluxograma do PCP da REVAP | 21 |
| Figura 1.11 Processo de programação da UGLP..... | 23 |
| Figura 1.12 Programação da UGLP..... | 24 |
| Figura 1.13 Fluxograma da unidade em campanha de PropInt..... | 26 |
| Figura 1.14 Fluxograma da unidade em campanha de butano intermediário | 26 |
| Figura 2.1 Contexto do scheduling x indisponibilidade de aplicativo..... | 34 |
| Figura 4.1 Composição da função objetivo com o modelo otimizado | 52 |
| Figura 4.2 Campanhas realizadas na unidade | 53 |
| Figura 4.3 Envio de GLP e butano intermediário..... | 54 |
| Figura 4.4 Volumes totais produzidos e enviados..... | 54 |
| Figura 4.5 Evolução do estoque de PropInt | 55 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.6 Evolução do estoque de GLP | 55 |
| Figura 4.7 Evolução do estoque de butano intermediário..... | 56 |
| Figura 4.8 Comparação da produção de PropInt..... | 58 |
| Figura 4.9 Comparação do envio de GLP | 58 |
| Figura 4.10 Comparação do envio de butano intermediário | 59 |
| Figura 4.11 Comparação dos volumes totais produzidos e enviados | 59 |
| Figura 4.12 Comparação das funções objetivo | 60 |
| Figura 4.13 Comparação da evolução de estoque de PropInt | 60 |
| Figura 4.14 Comparação das produções de GLP | 61 |
| Figura 4.15 Comparação da evolução de estoque de GLP | 62 |
| Figura 4.16 Comparação das produções líquidas de butano intermediário | 62 |
| Figura 4.17 Comparação da evolução de estoque de butano intermediário..... | 63 |
| Figura 4.18 Campanhas realizadas na unidade durante o novo período..... | 65 |
| Figura 4.19 Envio de GLP e butano intermediário no novo período | 66 |
| Figura 4.20 Volumes totais produzidos e enviados no novo período..... | 67 |
| Figura 4.21 Composição da função objetivo no novo período | 67 |
| Figura 4.22 Evolução do estoque de PropInt durante o novo período..... | 68 |
| Figura 4.23 Evolução do estoque de GLP durante o novo período..... | 69 |
| Figura 4.24 Evolução do estoque de butano intermediário durante o novo período | 69 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1.1 Unidades industriais da REVAP | 12 |
| Tabela 1.2 Características das campanhas da torre depropanizadora..... | 25 |
| Tabela 1.3 Discretização do tempo | 41 |
| Tabela 4.1 Características principais do <i>WHAT'S BEST!</i> | 48 |
| Tabela 4.2 Parâmetros do modelo..... | 50 |
| Tabela 4.3 Parâmetros que no novo período apresentavam valores diferentes dos originais .. | 65 |

LISTA DE SIGLAS

- ACU – Análise da carga da UMTBE por turno
- APTG – Análise da produção total de GLP
- CM – Gerência de Comercialização
- COTUR – Coordenação de Turno
- GC – Gás Combustível ou Gás de Refinaria
- DEA – Di-etanol-Amina
- EN – Gerência de Engenharia
- FAFEN – Fábrica de fertilizantes nitrogenados
- GLP – Gás liquefeito de petróleo
- C3 – Propano
- C4 - Butano
- GVCO – Caldeira (Gerador de Vapor) que utiliza CO como combustível
- HCO – Óleo pesado de reciclo (Heavy cycle oil)
- HDT – Unidade de hidrotratamento
- LCO – Óleo leve de reciclo (Lyght cycle oil)
- LUBNOR – Lubrificantes e derivados de petróleo do Nordeste – Fortaleza-CE
- MEROX – Tratamento caustico regenerativo
- MI – Gerência de Manutenção Industrial
- OCC – Óleo decantado
- ODES – Óleo desasfaltado
- OT – Gerência de Otimização
- PAN – Plano anual de metas
- PR – Gerência de Produção
- PRPPC – Problema de recebimento de petróleo e preparação da carga

- QAV – Querosene de aviação
- RASF – Resíduo asfáltico
- RAT – Resíduo atmosférico
- RATCRAQ – RAT especial que pode ser usado como carga da UFCC
- RECAP – Refinaria de Capuava – Mauá-SP
- REDUC – Refinaria Duque de Caxias – Campos Elíseos-RJ
- REFAP – Refinaria Alberto Pasqualini – Canoas-RS
- REGAP – Refinaria Gabriel Passos – Betim-MG
- RELAM – Refinaria Landulpho Alves – Mataripe-BA
- REMAM – Refinaria de Manaus – Manaus-AM
- REPAR – Refinaria Presidente Getúlio Vargas – Araucária-PR
- REPLAN – Refinaria de Paulínia – Paulínia-SP
- REVAP – Refinaria Henrique Lage – São José dos Campos-SP
- RPBC – Refinaria Presidente Bernardes – Cubatão-SP
- RV – Resíduo de vácuo
- SMS – Gerência de Saúde, Meio-Ambiente e Segurança Operacional
- TE – Gerência de Transferência e Estocagem
- TEBAR – Terminal Almirante Barroso – São Sebastião-SP
- TEVAP – Terminal do Vale do Paraíba – São José dos Campos-SP
- UDASF – Unidade de desasfaltação
- UDAV – Unidade de destilação atmosférica e a vácuo
- UFCC – Unidade de craqueamento catalítico fluido
- UGLP – Unidade de GLP
- UN – Unidade de negócio

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem o objetivo de apresentar o problema de planejamento e programação de produção da REVAP, empresa onde o trabalho será desenvolvido. Além da formulação do problema, serão expostos os objetivos do trabalho, sua abrangência e relevância para a empresa.

1.1 A indústria do petróleo

Existem muitos indícios de presença do petróleo na vida dos povos da Antigüidade, da Arca de Noé às pirâmides do Egito. Sacerdotes hebreus, por exemplo, usavam o petróleo nos sacrifícios, para acender fogueiras nos altares, e as chamas que irrompiam eram consideradas manifestações divinas. Conta a Bíblia que Deus, desgostoso com a raça que criara, ordenou a Noé a construção de uma arca e sua calafetação com betume, antes de inundar o mundo com o dilúvio.

O mesmo betume serviu como material de construção, seja nas pirâmides do Egito, no Templo de Salomão ou nos famosos jardins suspensos da Babilônia. Milênios antes de Cristo, o petróleo já era um valorizado produto comercial, usado também para embalsamar corpos, iluminar, impermeabilizar moradias e palácios, pavimentar estradas ou calafetar embarcações. Para gregos e romanos, a principal aplicação era bélica: lanças incendiárias embebidas em betume eram uma de suas armas mais eficazes.

Ao longo de vários séculos, o petróleo foi recolhido na superfície. A primeira mineração só aconteceu em 1742, na Alsácia (limite da França com a Alemanha). Em Baku, atual capital do Azerbaijão, no início do século XIX, foram cavados os primeiros poços, atingindo profundidades de até 30 metros. Os métodos de exploração eram bastante primitivos, mas mesmo assim a utilização do petróleo ampliava-se. Passou a ser usado na produção de medicamentos para cálculos renais, escorbuto, câibras e gota, além de tônico para o coração e remédio contra reumatismo.

Na segunda metade do século XIX, os métodos primitivos, de pouquíssimo rendimento, deram lugar à ousada idéia de perfurar poços mais profundos. Foi um ex-

maquinista de trem, o americano Edwin Drake, quem passou à História como o autor da façanha. Perfurado em 1859 na Pensilvânia, Estados Unidos, o poço aberto por Drake com um equipamento que funcionava como um bate-estaca, pelo sistema de percussão, produzia 19 barris por dia, encorajando muitas outras tentativas.

Cinco anos depois da *descoberta* de Drake, funcionavam, nos Estados Unidos, 543 companhias dedicadas ao novo ramo de atividade econômica. O petróleo passou então a ser utilizado em larga escala, substituindo os combustíveis disponíveis, principalmente o carvão, na indústria, e os óleos de rícino e de baleia, na iluminação. Com a invenção dos motores a explosão, no final do século, começou-se a empregar frações até então desprezadas do petróleo, e suas aplicações multiplicaram-se. No final do século XIX, dez países já extraíam petróleo de seus subsolos.

Começava, assim, um grande negócio e mais um capítulo da história daquela que se tornaria a principal matéria-prima do século XX, capaz de transformar as relações econômicas do mundo, dando impulso à industrialização e ao progresso tecnológico, diminuindo distâncias e aumentando o conforto das pessoas.

No Brasil, o interesse pela exploração do petróleo começou no século XX. As primeiras atividades na área foram de iniciativa privada e eram amadoras e desorganizadas. Em 1938, toda atividade petrolífera passou, por lei, a ser permitida apenas para brasileiros. Ainda nesse ano, foi criado o CNP (Conselho Nacional do Petróleo), que era responsável por avaliar os pedidos de pesquisa e lavra de jazidas de petróleo. Em 1941, foi perfurado, na Bahia, o primeiro poço a produzir petróleo no Brasil.

Em 1953, o Presidente Getúlio Vargas assinou a lei que instituiu o monopólio estatal da pesquisa, lavra, refino e transporte de petróleo e seus derivados, e criou a Petróleo Brasileiro S.A. – PETROBRAS para exercê-lo. Esse monopólio foi extinto por lei em 1997, porém, na prática, a empresa continua exercendo essas atividades com uma concorrência muito pequena.

A indústria do petróleo começa na exploração do petróleo, que é enviado a refinaria, onde é transformado em combustíveis, lubrificantes e matéria prima para as petroquímicas. As petroquímicas por sua vez, transformam esses produtos em matéria prima para a indústria de termoplástico, responsável pela produção de resinas termoplásticas, que são por sua vez matéria prima para a indústria transformadora, responsável pela produção de

peças/componentes para outras indústrias e/ou consumidores finais, como por exemplo, plástico, borracha, etc. Esta cadeia está representada na Figura 1.1.

1.2 Apresentação da empresa

Hoje, passado meio século de sua criação, a Petrobras é a maior empresa brasileira e a 15a. empresa de petróleo do mundo, segundo a *Petroleum Intelligence Weekly - PIW*. É uma sociedade anônima de capital aberto que, junto com suas subsidiárias BR Distribuidora, Transpetro, Gaspetro e Petroquisa - compõem o Sistema PETROBRAS. Atua de forma integrada (do poço ao posto) e especializada nos seguintes segmentos relacionados à indústria do petróleo: exploração e produção; refino, comercialização e transporte; distribuição de derivados; gás e energia e petroquímico.

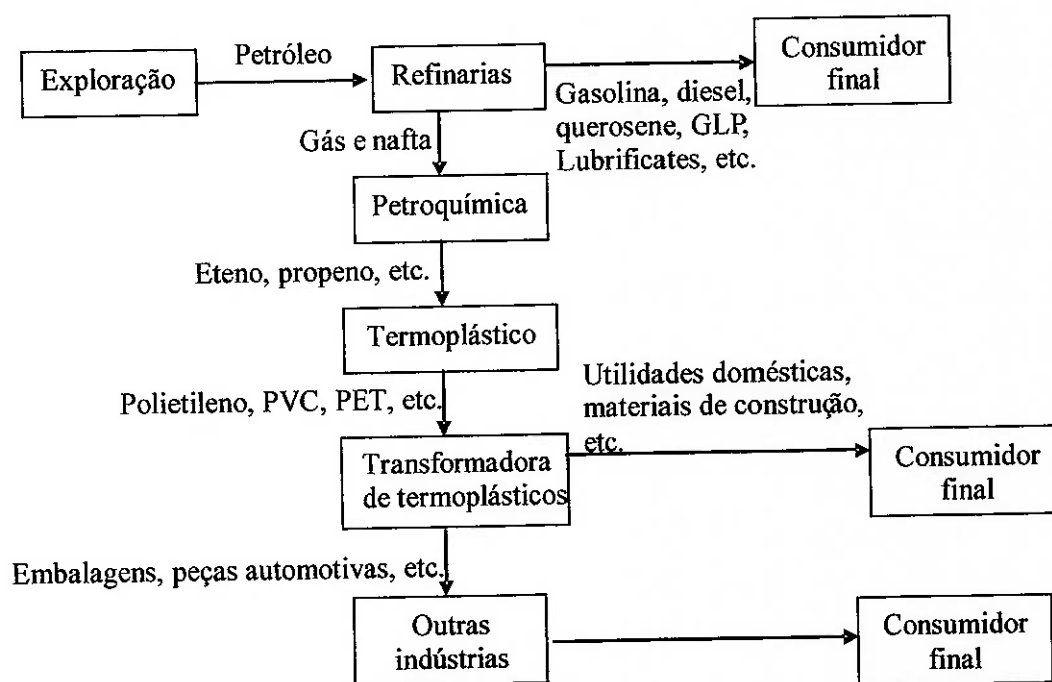


Figura 1.1 Cadeia produtiva da indústria do petróleo

Com a abertura do mercado brasileiro a outras empresas, a Petrobras está vivenciando novos desafios e oportunidades de crescimento, agora atuando sob o regime de competição. Neste contexto, a empresa passa a buscar o crescimento, no Brasil e no exterior, com o maior

retorno possível aos seus acionistas, preparando-se para se tornar uma corporação internacional de energia.

Com sede na cidade do Rio de Janeiro, a Petrobras possui escritórios e gerências de administração em importantes cidades brasileiras como São Paulo, Salvador e Brasília.

De acordo com o modelo de estrutura organizacional, apresentado na Figura 1.2, a Companhia funciona com quatro áreas de negócio: E&P (Exploração e Produção), Abastecimento, Gás & Energia e Internacional, duas áreas de apoio: Financeira e Serviços, além das unidades corporativas ligadas diretamente ao presidente.

Além das atividades da *holding*, o Sistema Petrobras inclui subsidiárias - empresas com diretorias próprias, interligadas à sede. As três principais são:

- Petrobras Distribuidora S.A. – BR Distribuidora, que atua na distribuição de derivados de petróleo;
- Petrobras Internacional S.A. – Braspetro, que atua nas atividades de exploração e produção e na prestação de serviços técnicos e administrativos no exterior;
- Petrobras Transporte S.A. – Transpetro, criada para executar as atividades de transporte marítimo e dutoviário da Companhia.

A empresa possui atualmente noventa e três plataformas de produção, quase dezesseis mil quilômetros em dutos, mais de sete mil postos de combustíveis, além de onze refinarias no Brasil, duas na Bolívia e três na Argentina, duas fábricas de fertilizantes nitrogenados (Fafen) e a Superintendência de Industrialização do Xisto (SIX), distribuídas, no Brasil, Na Figura 1.2, estão apresentadas as refinarias, as FAFEN's e a SIX.

Como se pode observar na Figura 1.3, as refinarias da PETROBRAS estão localizadas próximas aos grandes centros de consumo de derivados. Esse fato deve-se ao menor custo de transporte do óleo cru por longas distância em relação ao transporte de produtos finais. Isso pode ser justificado pelo fato de que para o transporte do petróleo das regiões produtoras para as refinarias é necessário apenas um duto por linha, enquanto que para transportar derivados são necessários um duto para cada grupo de produto (claros, escuros, gases, etc) e ainda que como grande parte desse transporte deve ser feito por meio de caminhões tanque, devido a dispersão do mercado consumidor, os produtos podem ser retirados na própria refinaria, diminuindo então, o número de terminais necessários.

Atualmente a PETROBRAS produz mais de 80 diferentes produtos, o perfil de produção do ano de 2003, pode ser observado na Figura 1.4.

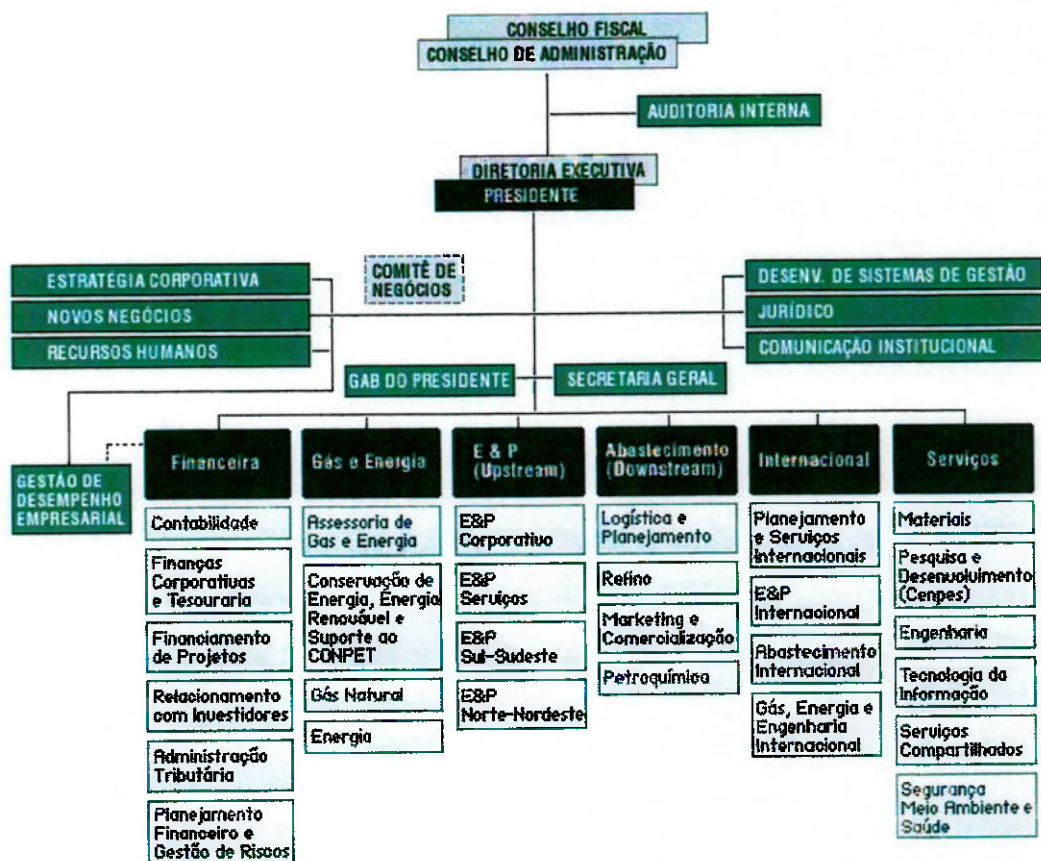


Figura 1.2 Organograma da PETROBRAS

A REVAP (Refinaria Henrique Lage) surgiu da necessidade de se atender a crescente demanda de derivados na região geo-econômica compreendida pelos estados de São Paulo, Minas Gerais (sul), Paraná (norte) e Mato Grosso do Sul. Além disso, dada a sua localização geográfica e interligação com os terminais marítimos de Santos e São Sebastião, visou atender às necessidades de complementação do mercado abastecido por navegação e exportação crescente de derivados de petróleo.

Localizada no município de São José dos Campos (SP), no km 143 da Rodovia Presidente Dutra, a refinaria abrange uma extensa área de 10,3 km² e possui uma capacidade de processar 250 mil barris de petróleo por dia.



Figura 1.3 Refinarias da PETROBRAS no Brasil

Produção Nacional de derivados 2003 (1,641 Mbpd)

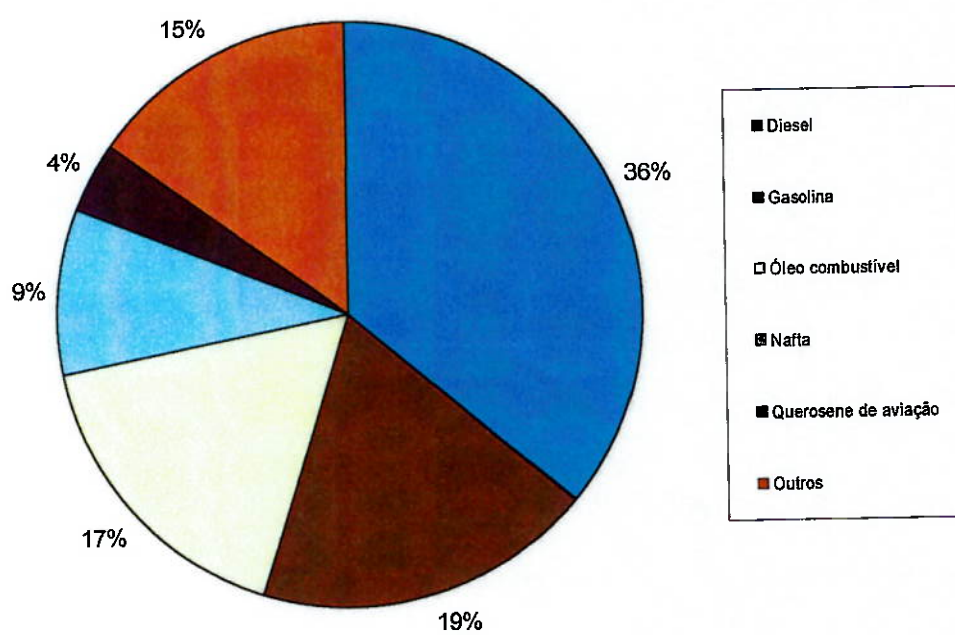


Figura 1.4 Perfil de produção da PETROBRAS

A REVAP entrou em operação em 1980 e no início da década de 90 transformou-se na refinaria mais automatizada do Brasil e numa das mais avançadas do mundo com a implantação do Sistema Digital de Controle Avançado (SDCD), o que lhe permite tirar o máximo rendimento e qualidade de produtos dos petróleos processados.

A refinaria é responsável pela produção de cerca de 15% de toda a produção nacional de derivados de petróleo com uma média anual de processamento superior a 200.000 barris de petróleo por dia. Seu faturamento anual gira em torno de RRR\$ 11 bilhões, equivalente a 1 % do PIB nacional e a quase 50 % do ICMS arrecadado na cidade de São José dos Campos.

Individualmente, seu principal mercado consumidor é o aeroporto de Guarulhos, onde são consumidos diariamente cerca de 6 milhões de litros de querosene de aviação (QAV). Para tanto, a REVAP adequou a qualidade desse produto aos padrões internacionais. Em meados da década de 90 a REVAP recebeu o certificado ISO 9002. Um dos principais fatores que possibilitou essa certificação foi o controle avançado de processo da refinaria.

1.3 Produtos e processos de suprimento e distribuição

1.3.1 Produtos

Os principais produtos da refinaria são:

a) GLP: o gás liquefeito de petróleo, mais conhecido como "gás de cozinha" é normalmente comercializado em botijões no estado líquido, tornando-se gasoso à pressão atmosférica e temperatura ambiente na hora de sua utilização em fogão. Por ser um produto inodoro por natureza, um composto à base de enxofre é adicionado, dando-lhe um cheiro bastante característico para facilitar a detecção de possíveis vazamentos. Na REVAP, todo esse gás é vendido para companhias de gás, onde chega através de bombeios da refinaria e é "engarrafado" para posterior comercialização.

b) Gasolina automotiva: a gasolina pura, conhecida na refinaria como gasolina A, é oferecida às companhias distribuidoras, sem a adição do álcool anidro. Por Lei Federal, o álcool é acrescentado à gasolina em um percentual definido pelo Ministério da Agricultura e Abastecimento. Esta mistura, é efetuada nas distribuidoras, antes de chegar aos postos

combustíveis. Na REVAP, a gasolina A pode ser bombeada para a base de distribuição da shell, na cidade de São José dos Campos, retiradas através de Caminhões tanques no TEVAP, ou enviada a algum outro terminal da PETROBRAS.

c) Diesel: a Produção de diesel da REVAP, destina-se aos mercados do Vale do Paraíba, Litoral Norte de São Paulo, Sul de Minas e Região Centro-Oeste do país, além de atender o consumo de diesel metropolitano (com baixo teor de enxofre) na Grande São Paulo, através do terminal de Guarulhos.

d) Querosene de Aviação: produzido para aviões modernos com motores à turbina, este produto atende parâmetros de qualidade que equivalem às mais rígidas especificações internacionais. A produção da REVAP, destina-se principalmente ao aeroporto internacional de Guarulhos, entretanto é responsável também pela demanda do aeroporto local e muitas vezes pelo aeroporto de Viracopos, em Campinas.

e) Nafta Petroquímica: a Petrobras é a única produtora de nafta petroquímica no Brasil, atendendo à demanda nacional com produção própria e por importações. A produção da REVAP é fornecida à Petroquímica União (São Paulo), que a processam obtendo como produtos principais propeno, eteno e correntes aromáticas. Esse fornecimento acontece através do terminal de São Caetano.

f) Óleo combustível (OC): a Petrobras possui uma variedade de tipos de óleos com alta viscosidade, conhecidos como óleos combustíveis. Suas aplicações baseiam-se em combustíveis para caldeiras e fornos industriais. A produção da REVAP, além de atender a demanda local, destina-se a região do ABC, cujo fornecimento, semelhante a nafta petroquímica, se dá através do terminal de São Caetano.

g) Asfalto: na REVAP esse produto é comercializado como CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo), e é vendido às fábricas de asfalto. O CAP, é um óleo semelhante ao óleo combustível, porém de viscosidade superior e para ser entregue a seus clientes na forma líquida, não podem esfriar além de uma temperatura limite. Geralmente os OC's e asfaltos são agrupados no perfil de produção das refinarias, devido as suas semelhanças físicas (alta viscosidade) e de preço (baixo).

h) Enxofre: o enxofre é um produto proveniente da necessidade de reduzir o índice de enxofre dos derivados. Na REVAP, ele é comercializado de forma sólida e vendido a granel. Ele é utilizado como matéria-prima na indústria química (em sua maioria).

i) Propano intermediário (PropInt): este produto é obtido através de uma operação especial, onde o GLP, que é uma mistura de hidrocarbonetos com 3 e 4 átomos em sua cadeia, é decomposto em butano (C_4), que é posteriormente comercializado com GLP e propano(C_3) de alta pureza, que é vendido a indústria petroquímica e possui um valor cerca de 50 % maior do que o GLP. O PropInt é considerado pela refinaria como um produto intermediário, pois não é catalogado como um produto acabado pela Agência Nacional de Petróleo (ANP). No perfil de produção da REVAP, apresentado na Figura 1.5, este produto é enquadrado como GLP.

1.3.2 Recebimento e Armazenamento

O petróleo processado na REVAP tem diversas origens, podendo vir tanto da longínqua China como da Bacia de Campos, no Estado do Rio de Janeiro. Porém cerca de 90% da carga processada tem origem nacional.

Transportado em navios petroleiros, o petróleo, de origem nacional e internacional, é descarregado no TEBAR - Terminal Marítimo Almirante Barroso, situado em São Sebastião, litoral norte do Estado de São Paulo. O petróleo é transferido para a REVAP por um sistema integrado de oleodutos.

O oleoduto tem 120 quilômetros de comprimento e a transferência pode ser efetuada à vazão de $5000 \text{ m}^3/\text{h}$. A capacidade global de armazenamento de petróleo na refinaria (660 mil m^3) corresponde a um estoque superior a vinte dias de operação com a carga de referência, que corresponde a capacidade máxima de operação sem haver degradação ou comprometimento da vida útil dos equipamentos.

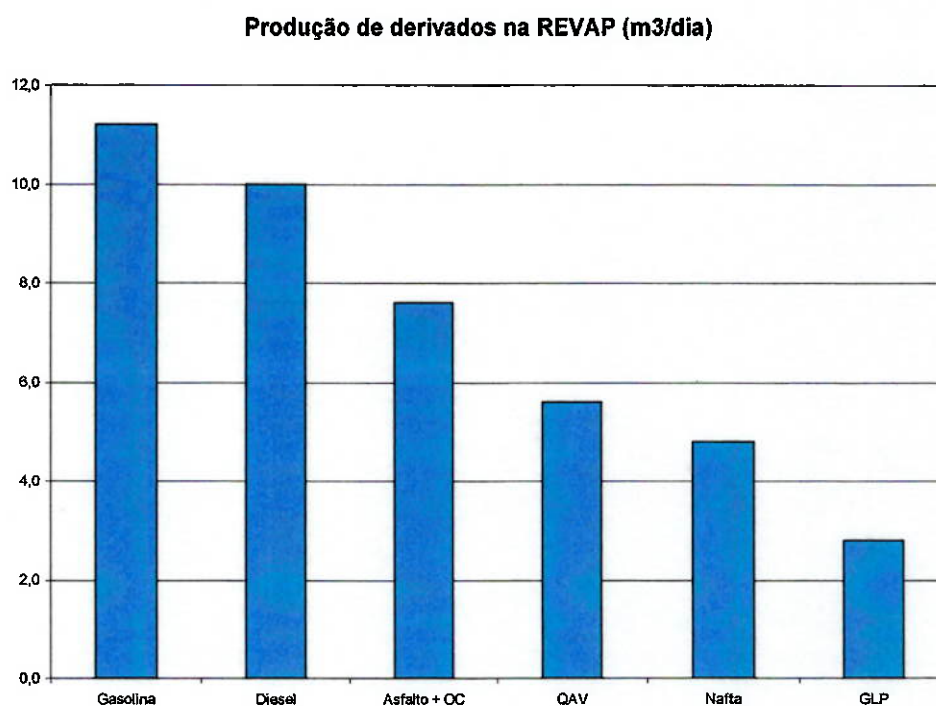


Figura 1.5 Perfil de produção da REVAP

A capacidade de estocagem de produtos finais, intermediários e petróleo totaliza cerca de 2,7 milhões de m³, divididos da seguinte forma:

- 26 tanques de armazenagem de produtos na faixa de ebulição da nafta (460 mil m³), como nafta e gasolina (nafta craqueada);
- 18 tanques para armazenamento de produtos na faixa de ebulição do diesel, (485 mil m³);
- 16 tanques de armazenagem de produtos ultra-viscosos, como asfaltos e óleos combustíveis mais pesados (45 mil m³);
- 12 esferas para armazenamento de gases (GLP, propano e butano), (33 mil m³);
- 28 tanques para armazenar petróleo e cargas intermediárias (890 mil m³).

1.3.3 Escoamento da Produção

A parcela maior da produção (cerca de 80%) é escoada por um moderno sistema de oleodutos de derivados que interliga a REVAP com as outras refinarias do Estado de São Paulo (REPLAN, RECAP) e com a refinaria do Rio de Janeiro (REDUC), bem como com os terminais de derivados da PETROBRAS na Grande São Paulo, em Santos e em São Sebastião, para operações de exportação ou cabotagem de derivados líquidos. Esse sistema de dutos, que está representado na Figura 1.6, concede ao Estado uma invejável segurança no abastecimento de derivados de petróleo, garantindo pleno atendimento em qualquer contingência.

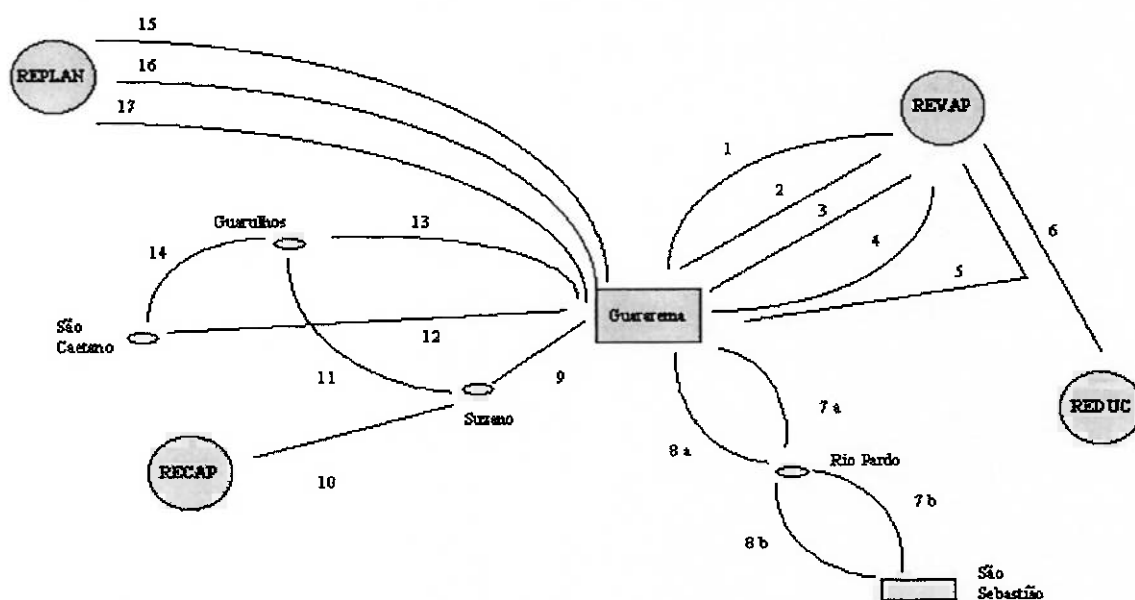


Figura 1.6 Rede de dutos da região utilizados pela REVAP

O restante da produção é escoado através de sistemas locais, que compreendem:

a) Um Terminal de Provimento, chamado Terminal do Vale do Paraíba (TEVAP) para derivados líquidos (gasolina, óleo diesel, óleo combustível, asfalto, álcool, querosene de aviação), que são transportados por rodovias.

b) Terminais de envasamento e transferência de GLP (rede de dutos que ligam a refinaria a companhias locais de engarrafamento de GLP).

c) Um pátio de carregamento rodoviário de enxofre líquido ou sólido (granulado) para fornecimento a indústrias regionais.

d) Suprimento de gás carbônico (CO_2) diretamente à indústria na vizinhança da Refinaria. (feito através de dutos)

e) Uma Base de Provitamento para derivados líquidos, pertencente a Shell (“pool da Shell”).

A área de influência da REVAP atualmente estende-se no eixo da Rodovia Presidente Dutra, de Santa Isabel a Queluz, no litoral norte do Estado de São Paulo, de São Sebastião a Parati, abrangendo ainda o sul do Estado de Minas Gerais e a região Centro-Oeste do Brasil.

Diferentemente dos demais derivados, toda a produção de GLP da REVAP é destinada exclusivamente ao atendimento do mercado local, e raramente utiliza o sistema de dutos descrito acima. A distribuição desse derivado merece atenção especial por parte da refinaria, uma vez que a produção da REVAP, não é capaz de atender todo o mercado e a capacidade de armazenagem é relativamente baixa.

1.4 Descrição dos processos de produção

Para produzir todos os produtos apresentados no item anterior, a REVAP possui um conjunto integrado de Unidades Industriais. Na Tabela 1.1 estão apresentadas as unidades industriais principais da REVAP, importantes para este trabalho.

Tabela 1.1 Unidades industriais da REVAP

| Unidade | Número | Carga de Referência* |
|---|--------|--------------------------|
| Destilação Atmosférica e a Vácuo (UDAV) | U-210 | 40.000 m ³ /d |
| Craqueamento Catalítico (UFCC) | U-220 | 14.000 m ³ /d |
| Desasfaltação a Propano (UDASF) | U-274 | 6.800 m ³ /d |
| MTBE | U-226 | 1.200 m ³ /d |

* A carga de referência é a capacidade máxima sem haver degradação ou comprometimento da vida útil dos equipamentos. Algumas unidades, como a UDASF, podem ter limitação física dos equipamentos.

Além das unidades principais, existem vários subsistemas de vital importância para a refinaria. Um de grande relevância para este trabalho é o da torre depropanizadora, responsável pela decomposição do GLP produzido pela UDAV e pela UFCC, sendo então responsável pela produção de propano petroquímico, ou propano intermediário (PropInt), um derivado de alto valor comercial. Esse subsistema, que neste trabalho será chamado de Unidade de GLP (UGLP) será detalhado adiante. Na Figura 1.7, está apresentado o fluxograma do processo, envolvendo as unidades importantes para este trabalho.

A seguir será apresentada uma descrição das unidades envolvidas no processo.

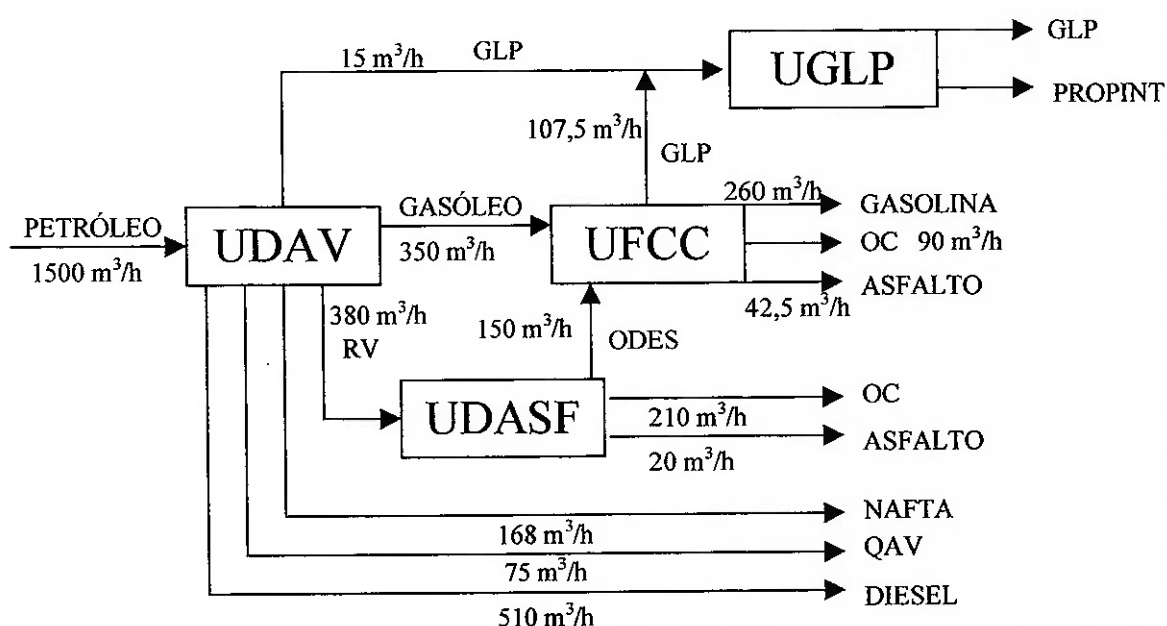


Figura 1.7 Processo básico de produção

1.4.1 UDAV – Unidade de destilação atmosférica e a vácuo

A destilação é um processo físico de separação baseado na diferença dos pontos de ebulição entre os compostos co-existent no petróleo, que aumentam com o crescimento dos pesos moleculares. A temperatura de ebulição de um determinado líquido depende diretamente da pressão a que está submetido, sendo tanto menor quanto menor for a pressão. E é conjugação desses dois parâmetros que permitem a separação do petróleo em suas diversas frações.

Essa unidade é responsável pela produção de querosene de aviação (QAV) e diesel, que são seus objetivos principais, nafta petroquímica e GLP. Além disso é responsável pela produção das cargas da UFCC e da UDASF e de gás combustível, que são hidrocarbonetos compostos de cadeias com um e dois átomos de carbono. Esse gás é consumido na própria refinaria, pelo fato de não se liquefazer, o que torna sua comercialização inviável.

A unidade pode ser decomposta em três seções principais:

- Pré-aquecimento e dessalinização: tem a função de retirar sais e impurezas do petróleo, que possam prejudicar os processos ou danificar os equipamentos, e aproveitar o calor dos produtos que deixam o processo para aquecer a carga.
- Destilação atmosférica: tem a função de retirar as frações do petróleo a pressão próxima da atmosférica. Desse processo saem diesel, nafta petroquímica, querosene, gás combustível, um pouco de GLP e resíduo atmosférico (RAT).
- Destilação a vácuo: tem a função de transformar o RAT, em carga para a UFCC, possibilitando a formação de produtos mais nobres. Suas saídas são um pouco de gás combustível e GLP, gasóleo (que será carga da UFCC) e resíduo de vácuo (RV). A capacidade máxima dessa torre de vácuo é de uma vazão de 20.000 mil m³ de carga por dia.

1.4.2 UDASF – Unidade de desasfaltação a propano

O resíduo de vácuo possui alto peso molecular e sem essa unidade seria vendido como asfalto ou incorporado no “pool” de óleo combustível. Ambos esses produtos apresentam um baixo valor comercial, assim a unidade de desasfaltação tem a finalidade de extrair através de técnicas de extração líquido-líquido as frações mais leves que estão dissolvidas nesse óleo e podem ser utilizadas como carga da UFCC, que por sua vez transforma o que seria um subproduto do processo em produtos nobres e de grande valor comercial.

O processo de desasfaltação a propano consiste no íntimo contato da carga com o solvente (propano). A carga entra na parte superior da torre e o solvente na parte inferior, a diferença de densidade faz com que haja um contato em contra fluxo, permitindo então que o propano retire da carga as frações mais leves. Assim temos a formação de dois produtos. O

ODES (óleo desafaltado), que será carga da UFCC e o RASF (resíduo asfáltico), que será vendido para fábricas de asfalto.

1.4.3 UFCC – Unidade de craqueamento catalítico fluido

A unidade de craqueamento catalítico fluido (*Fluid Catalytic Cracking*), tem a finalidade de quebrar moléculas grandes de hidrocarbonetos em moléculas menores com o objetivo de transformar óleo com baixo valor comercial em produtos mais nobres e com maiores valores comerciais. Os principais produtos gerados pela UFCC são GLP e nafta craqueada (que pode ser enviada como produto intermediário ou degradada a gasolina).

Porém, além dos produtos principais, produzem óleo leve de reciclo (LCO), óleo pesado de reciclo (HCO), óleo clarificado ou decantado (OCC) e Borra de reciclo.

O LCO é usado como diluente para diesel e óleo combustível e é comum seu fluxo entre as refinarias, visando um melhor resultado para a companhia. A corrente de HCO é totalmente reciclada para a unidade e o OCC vai para o “pool” de óleo combustível.

Essa unidade pode ser dividida em quatro seções:

- Seção de conversão: essa seção é o coração da unidade e tem o objetivo de quebrar as moléculas da carga em moléculas menores, separar os finos do catalisador dos vapores de hidrocarbonetos e regenerar o catalisador.
- Seção de fracionamento: essa seção é composta por uma torre de destilação atmosférica e tem a função de separar a corrente gasosa que deixa a seção de conversão. Pelo topo da torre são retiradas correntes de gás combustível, GLP e nafta craqueada (gasolina). Lateralmente são retiradas corrente de óleo leve de reciclo (LCO) e pela parte inferior da torre saem as frações da carga que não foram craqueadas, conhecido como óleo decantado (OCC), que é utilizado para queima na própria refinaria.
- Seção de recuperação de gases: o objetivo dessa seção é separar a nafta, o GLP e o gás combustível (GC), com a maior recuperação possível de GLP. Devido à elevada volatilidade das frações essa seção operar em pressões mais elevadas.

- Seção de tratamento: a seção de tratamento tem como objetivo principal a redução do teor de enxofre e a corrosividade das frações leves produzidas na UFCC, de forma a melhorar suas condições de utilização e é constituída de dois processos: Tratamento Di-Etanol-Amina (DEA), que tem a função de remover H_2S do Gás combustível e do GLP e Tratamento cáustico regenerativo (MEROX), que tem a função de remover mercaptans ($R-S-H$) do GLP e da Nafta.

A carga dessa unidade, em condições normais, é composta de cerca de 70% de gasóleo e 30% de ODES, devido a restrições de resíduo de carbono em sua composição. Em ocasiões especiais, pode-se incluir nessa carga uma pequena parcela de RAT, apresentando então a seguinte composição: 10% RAT, 20% ODES e 70% gasóleo.

1.4.4 UGLP – Unidade de GLP

O GLP é basicamente uma mistura de hidrocarbonetos com 3 e 4 átomos de carbono (propano e butano). Tem como característica principal o fato de poder ser liquefeito à temperatura ambiente, o que permite o seu armazenamento em grande escala e em vasos de média pressão, com custos reduzidos em relação aos outros gases oriundos do petróleo.

Cerca de 90 % do GLP é produzido na unidade de craqueamento catalítico (UFCC), enquanto que os 10 % restantes são produzidos pela unidade de destilação atmosférica (UDAV). As duas correntes são misturadas e alinhadas para uma torre de destilação (depropanizadora), que subdivide o GLP em dois ramos: um deles, rico em hidrocarbonetos com 3 átomos de carbono (propano) e um outro, rica em hidrocarbonetos com 4 átomos de carbono (butano).

Essa unidade, que está apresentada na Figura 1.8, cujo objetivo é a produção de PropInt e butano intermediário, é composta basicamente, por uma torre de destilação atmosférica, responsável pela separação do propano e do butano, esferas de armazenagem de GLP e butano e a unidade de MTBE.

A unidade de MTBE, que utiliza como carga butano intermediário, produz o metil-tércio-butil-eter, um aditivo de octanagem para a gasolina, utilizado exclusivamente para a gasolina de exportação, uma vez que no Brasil o aditivo utilizado é o álcool anidro, e tem

como subproduto o refinado, que é uma corrente rica em hidrocarbonetos saturados com 4 átomos de carbono e pode ser usada para a composição de GLP para venda, em uma proporção definida pela densidade da mistura. Dependendo da campanha da torre depropanizadora, maximiza-se a produção de PropInt ou butano intermediário.

O parque de armazenagem de GLP na REVAP é formado por doze esferas, com capacidade de 2.700 m³ cada. Essas esferas são de dois tipos distintos, um deles, destina-se a produtos com alta pressão e baixa densidade, no caso o GLP, que não passa pela torre depropanizadora, e propano. O outro tipo destina-se a produtos com baixa pressão e alta densidade, no caso butano. Devido a variedade dos produtos armazenados e das características do mercado de GLP (demanda maior do que a oferta), esse parque torna-se relativamente pequeno e requer grande atenção por parte da REVAP.

Esse subsistema está esquematizado na Figura 1.8.

1.5 Planejamento, Programação e Controle da Produção

O processo de elaboração do planejamento, programação e controle da produção na REVAP, é feito pela Coordenadoria de Programação de Produção, que está dentro da Gerência de Otimização, que por sua vez é ligada diretamente com a Gerência Geral da refinaria. Essas relações podem ser melhor observadas no organograma da REVAP apresentado na Figura 1.9. Para uma macro visualização, o processo global dessa atividade é apresentado na Figura 1.10, as principais variáveis, bem como as restrições operacionais e de mercado, foram apresentadas de forma sucinta, porém suficientes para demonstrar a complexidade do sistema.

Embora algumas destas atividades tenham impacto limitado nas demais, outras geram consequências para todas as áreas de decisão. Entre as interferências externas na atividade da Programação da Produção, existem aquelas originadas na própria refinaria, como por exemplo, problemas operacionais nas unidades de processo, e aquelas que ocorrem fora da refinaria, como alterações na chegada de matéria prima e entrega de produtos.

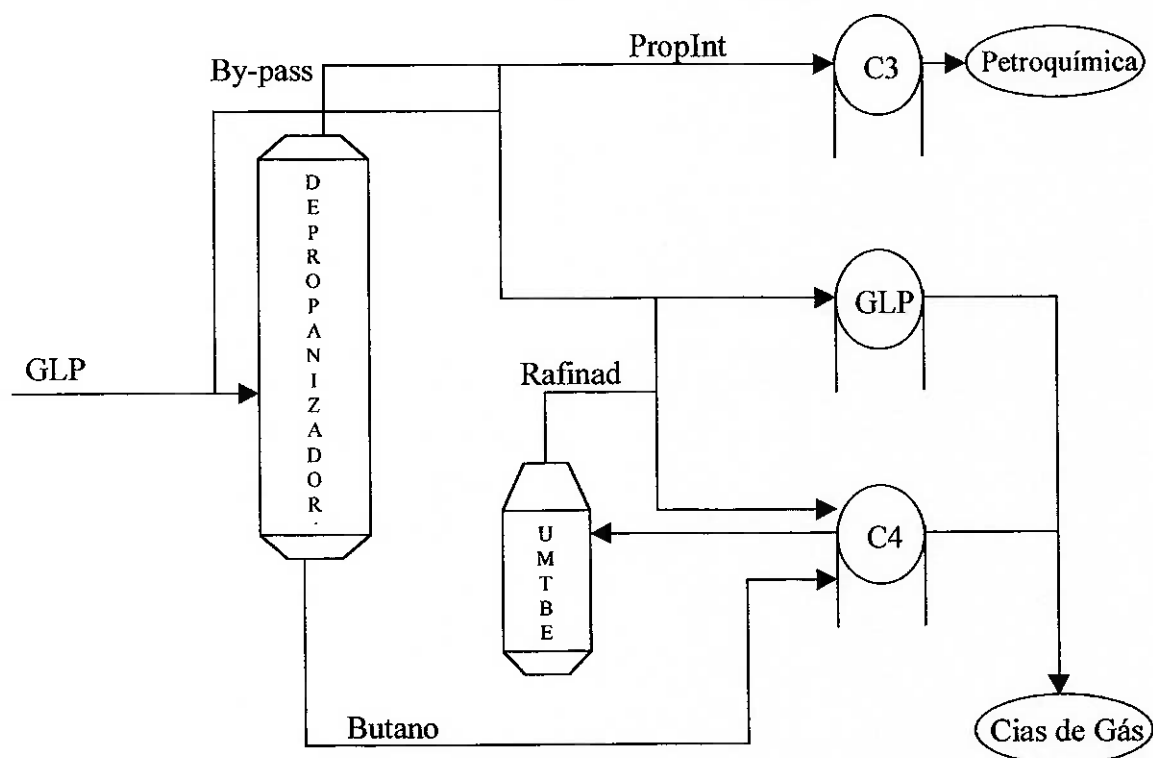


Figura 1.8 Fluxograma geral da unidade de GLP na REVAP

Assim, a Programação de Produção é uma função relacionada com a coordenação dos objetivos de produção, com atividades direcionadas à otimização do desempenho econômico do sistema de processamento. Alterações nas demandas e especificações dos produtos, em datas de entrega, na qualidade e quantidade das matérias primas e na disponibilidade e desempenho das unidades de processo são consideradas nas diretrizes de produção e geradas com frequência quinzenal, semanal ou diária, conforme cada caso específico.

Além de toda essa complexidade, a programação de Produção de uma refinaria, envolve ainda, além da coordenação de turno (COTUR), diversas gerências da REVAP : produção (PR), otimização (OT), comercialização e marketing (CM), engenharia (EN), segurança no trabalho, meio ambiente e saúde ocupacional (SMS), manutenção industrial (MI) e transferência e estocagem (TE).

No entanto, as ferramentas em computador disponíveis para o tratamento dos problemas de programação da produção numa refinaria de petróleo (no curto prazo) ainda estão incipientes.

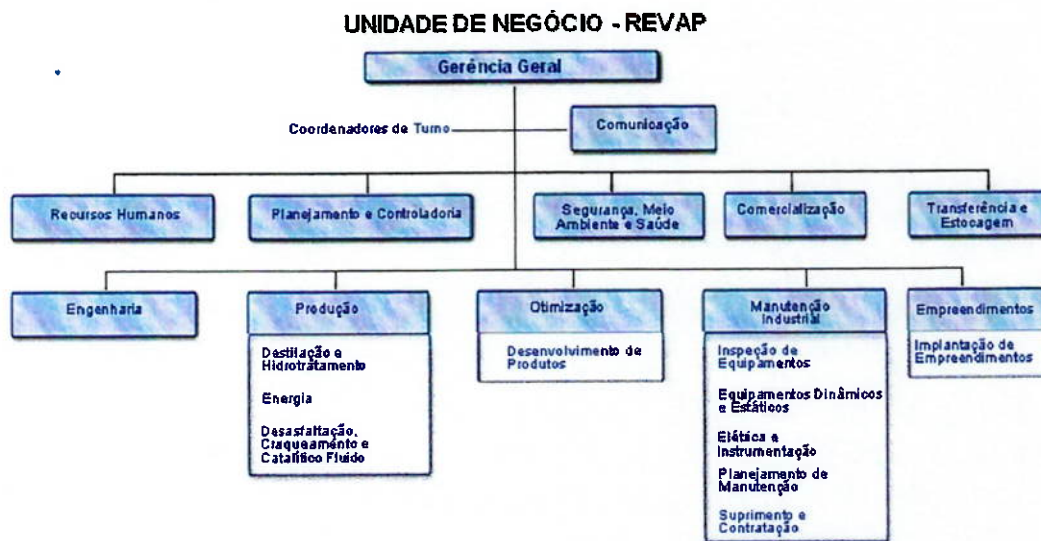


Figura 1.9 Organograma da REVAP

1.5.1 Planejamento da Produção

O processo de planejamento da produção da REVAP pode ser dividido em quatro partes:

- Planejamento da capacidade: realizado pela sede, tem a finalidade de definir a capacidade de todo o sistema produtivo da empresa.
- Planejamento agregado: chamado na PETROBRAS de Plano Anual de Negócios (PAN), é realizado pela sede anualmente e revisado mensalmente
- Alocação: realizado corporativamente, com a participação de todas as refinarias e a logística corporativa. Acontece em três momentos, o primeiro com o envio de um arquivo para as refinarias com a alocação de petróleo preliminar para cada uma, o segundo é uma vídeo-conferência, contando com a participação de todos os envolvidos, onde são realizadas reivindicações de cada unidade, e o terceiro em uma reunião no escritório regional de São Paulo, com a participação das refinarias de São Paulo, onde é fechado o plano de alocação.
- Para o planejamento de curto prazo, a REVAP, utiliza o software comercial *Aspen PIMS*, gerando informações para três períodos (duas quinzenas do mês da programação e o mês seguinte) de processamento, produções e utilização das

unidades. É rodado no final de cada mês, após a revisão da alocação e revisado quinzenalmente.

O Aspen PIMS (Process Industry Modeling System) é um software produzido pela AspenTech, que utiliza a programação não linear para realizar planos de produção em indústrias de processos. Ele é utilizado por mais de 75% das refinarias, e mais de 60% de todas as indústrias petroquímicas no mundo.

1.5.2 Programação e Controle da produção

A área de Programação e Controle da Produção, em uma refinaria de petróleo, atua num horizonte de curto prazo, conforme as seguintes atividades:

- O recebimento e mistura de petróleos: o programador deve definir a melhor sequência de recebimento do petróleo disponível, realizado através de bombeamentos por dutos e a forma de processamento destas misturas, visando seu máximo aproveitamento.
- Modos de operação das unidades de processo ou campanhas: é de responsabilidade do programador de produção a definição do tipo de carga a ser processada e quais os produtos que devem ser produzidos em um determinado momento.
- Utilização da tancagem de componentes intermediários: o programador de produção deve avaliar a adequação dos estoques de matéria-prima para as unidades de processo, visando cumprir as diretrizes estabelecidas no plano de produção. Ou seja o programador deve avaliar se os componentes presentes nos tanques estão dentro das especificações exigidas nos projetos de cada unidade industrial.
- Realização de misturas de produtos: em função das solicitações dos clientes e das características dos componentes disponíveis, o programador de produção define como, quando e qual o tipo de produto a ser preparado para expedição.
- Expedição de produtos: o programador deve conciliar as demandas do mercado e o nível de estoques de produtos, de modo a evitar o atraso no envio de um produto para o cliente bem como a redução da vazão de carga de uma unidade de processo em relação à planejada devido falta de espaço para armazenamento de um produto.

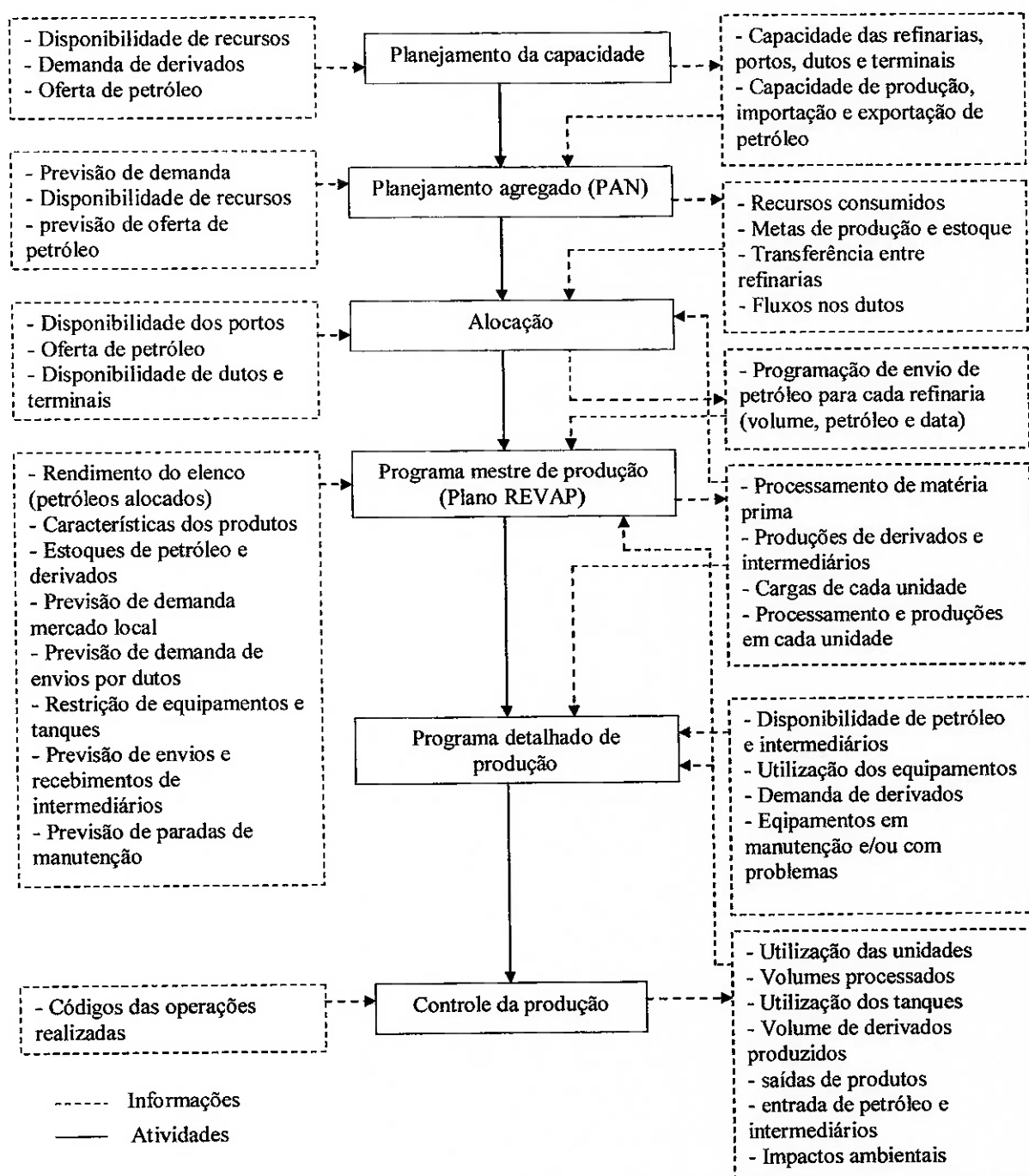


Figura 1.10 Fluxograma do PCP da REVAP

- O Controle da produção é elaborado pela OT, transforma os dados provenientes das unidades de processo, em informações que possam ser utilizadas para realimentar o processo de otimização da refinaria.

O Aspen PIMS considera apenas três períodos de tempo, sendo assim insatisfatório para a realização da programação da produção da refinaria, uma vez que esta, para discretizar o tempo, deve considerar vários pequenos períodos de tempo.

1.5.3 Programação da UGLP

A programação dessa unidade é um caso bem específico da refinaria, porém de extrema importância, pois sua otimização é capaz de gerar bons lucros a companhia.

O objetivo dessa programação é a decisão de qual será a campanha da torre depropanizadora em cada período de tempo e ainda a programação de expedição de GLP e butano nas companhias de gás locais. Sendo que a entrega de butano se dá exclusivamente através de composição com GLP, em uma proporção pré-definida. Essas decisões são tomadas de forma empírica e utilizam informações provenientes de várias áreas e atividades da refinaria. São elas:

- Gerência de comercialização e marketing: A CM disponibiliza as informações da demanda de GLP no mercado local.
- Gerência de manutenção industrial: a MI é responsável pela programação das paradas dos equipamentos e unidades do subsistema.
- Gerência de otimização: a OT através do programa mestre de produção, disponibiliza as seguintes informações:
 - Quantidade total de GLP que será produzido pelas unidades principais, que se encontra através do rendimento do elenco programado, cargas e campanhas das unidades produtoras de GLP.
 - A carga da UMTBE.
 - Estoque mínimo de butano, que depende da carga da UMTBE.
 - Estoque mínimo de GLP, que depende das restrições do sistema e características do mercado local.
 - Estoques máximos de GLP, butano e PropInt, que atualmente dependem somente de restrições técnicas, uma vez que, a produção de

tais produtos não é suficiente para o atendimento de toda a demanda, porém estão expostos a influências do mercado.

- Estoques atuais de cada produto, disponibilizados pela atividade de controle da produção.
- A programação de envio de PropInt para as indústrias petroquímicas do ABC paulista, que neste trabalho será tratada como demanda de PropInt, e é resultado da atividade de alocação (ver Figura 1.10).

Na Figura 1.11, está ilustrada de forma sucinta essa atividade.

A Figura 1.12 apresenta um exemplo de saída desse processo, sendo que nele foi considerado um horizonte de três dias, divididos em intervalos de 6 horas. Sendo ainda que as vazões de bombeio de GLP e butano constantes.

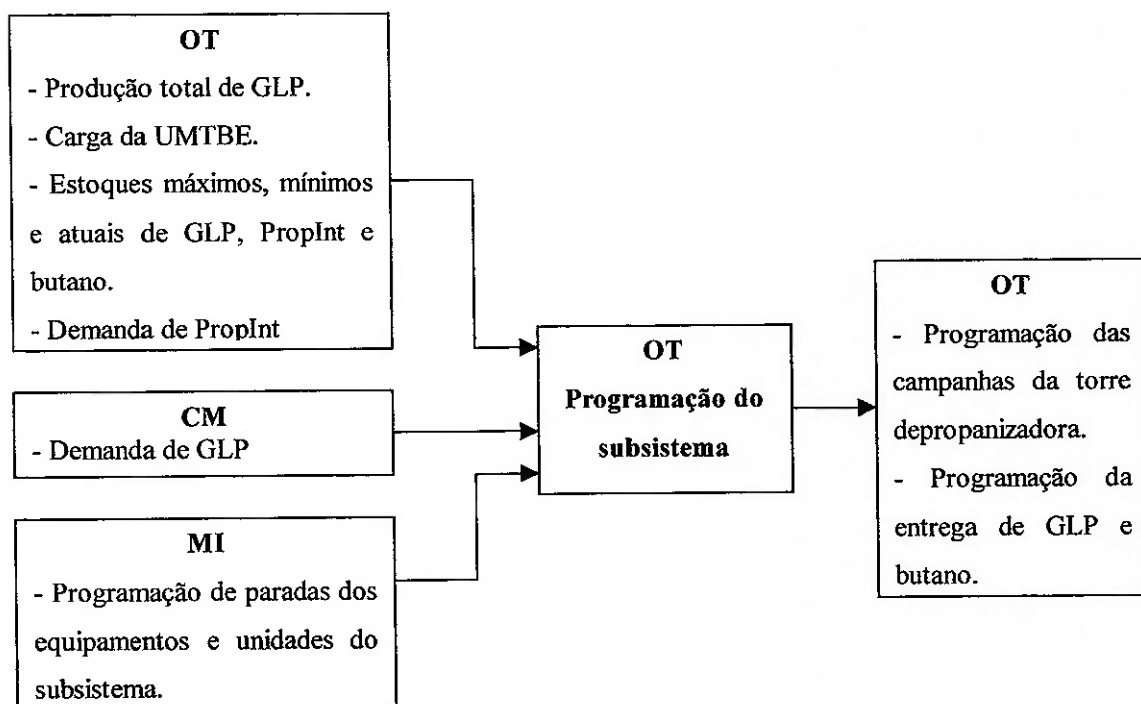


Figura 1.11 Processo de programação da UGLP

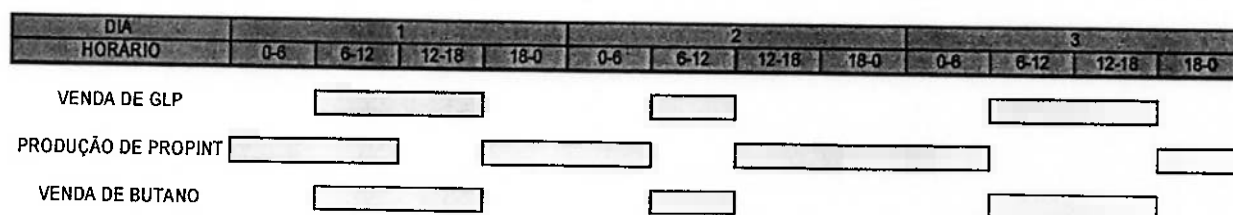


Figura 1.12 Programação da UGLP

1.6 – Formulação do Problema

O problema selecionado como foco deste trabalho, que é a programação da UGLP da REVAP, cujo processo acaba de ser descrito, consiste na determinação da melhor maneira de utilizar os recursos de processamento, matérias-primas da unidade (GLP) e espaço de armazenagem de modo que as programações de venda e quantidades de produtos sejam respeitadas e o custo operacional minimizado.

A principal decisão que deve ser tomada nessa programação é o modo de operação em que a torre de destilação da unidade, denominada torre depropanizadora, deve operar. Essa unidade tem como entrada uma corrente de GLP, que corresponde a produção desse derivado pelas unidades principais da refinaria. Essa corrente de GLP, que é mistura de propano e butano, entra na torre depropanizadora, que produz duas correntes, uma composta por hidrocarbonetos rica em cadeias de 3 carbonos (propano), e outra rica em butano. A corrente de GLP, pode também passar pelo *by-pass* da torre, seguindo diretamente para as unidades de armazenagem. A troca do modo de operação da torre depropanizadora está associado a custo de *set-up* significativo para a empresa.

Dependendo do modo de operação da torre, pode-se obter um propano de alto grau de pureza, que destina-se a indústria petroquímica e possui um maior valor comercial. O butano é utilizado como carga da unidade de MTBE e também comercializado através de sua mistura com GLP. Os modos de operação dessa unidade, também conhecido como campanha, são dois diferentes e exclusivos:

- Campanha de PropInt: nesse modo a torre trabalha com uma alta taxa de refluxo interno, implicando assim, em uma maior vazão no *by-pass* da torre. A produção de PropInt é enviada a uma esfera de GLP (alta pressão), destinada exclusivamente a

armazenagem deste produto. A produção de butano, vai direto para o armazenamento em uma esfera de baixa pressão. A corrente de GLP, que passa pelo by-pass é armazenada em esferas de alta pressão. Nessa campanha a produção de refinado pela UMTBE, segue para uma esfera de baixa pressão, juntamente com o butano. A Figura 1.13 mostra o fluxograma de operação da unidade em campanha de Propint, bem como os valores dos fluxos dos produtos através dos processos, em turno com duração de seis horas

- Campanha de butano intermediário: nessa campanha, a produção de butano é enviada diretamente a esferas de baixa pressão. Já o refinado, junta-se com a produção de propano, e segue para uma esfera de GLP. Nessa operação não há produção alguma de Propint. O GLP, que passa pelo by-pass segue para uma esfera de alta pressão. A Figura 1.14 mostra o fluxograma de operação da unidade em campanha de butano intermediário, bem como os valores dos fluxos dos produtos através dos processos, em turno com duração de seis horas.

Na Tabela 1.2 estão apresentadas as principais características de cada campanha.

Tabela 1.2 Características das campanhas da torre depropanizadora

| CAMPANHA | MODO DE OPERAÇÃO | PRODUÇÕES | | | FLUXO NO BY-PASS |
|----------------|-----------------------|-----------|--------|-------|------------------|
| | | Propint | Butano | GLP | |
| Butano | Baixo refluxo interno | Nula | Alta | média | Baixo |
| Propint | Alto refluxo interno | Alta | Baixa | alta | Alto |

Os fluxos apresentados nas Figuras 1.13 e 1.14, são conseqüências da programação da UDAV e UFCC, que neste trabalho, será considerado como a solução do problema geral de programação de produção da refinaria, que foge do escopo deste trabalho. Assim não abordará nenhum tipo de mudança na programação das demais unidades da refinaria. Não será considerado o caso dos níveis de produção ultrapassarem a capacidade de escoamento dos gases, tratados no problema, implicando em uma redução da carga da UDAV e/ou UFCC.

A variável de decisão, tratada até agora, é considerada binária pelos seguintes motivos:

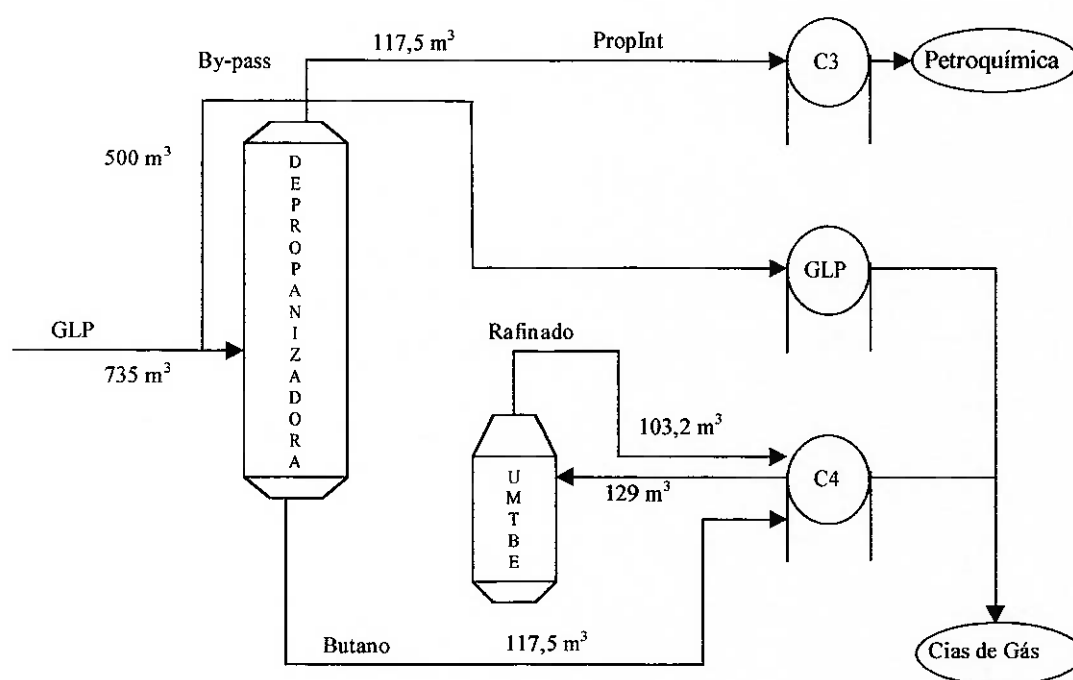


Figura 1.13 Fluxograma da unidade em campanha de PropInt

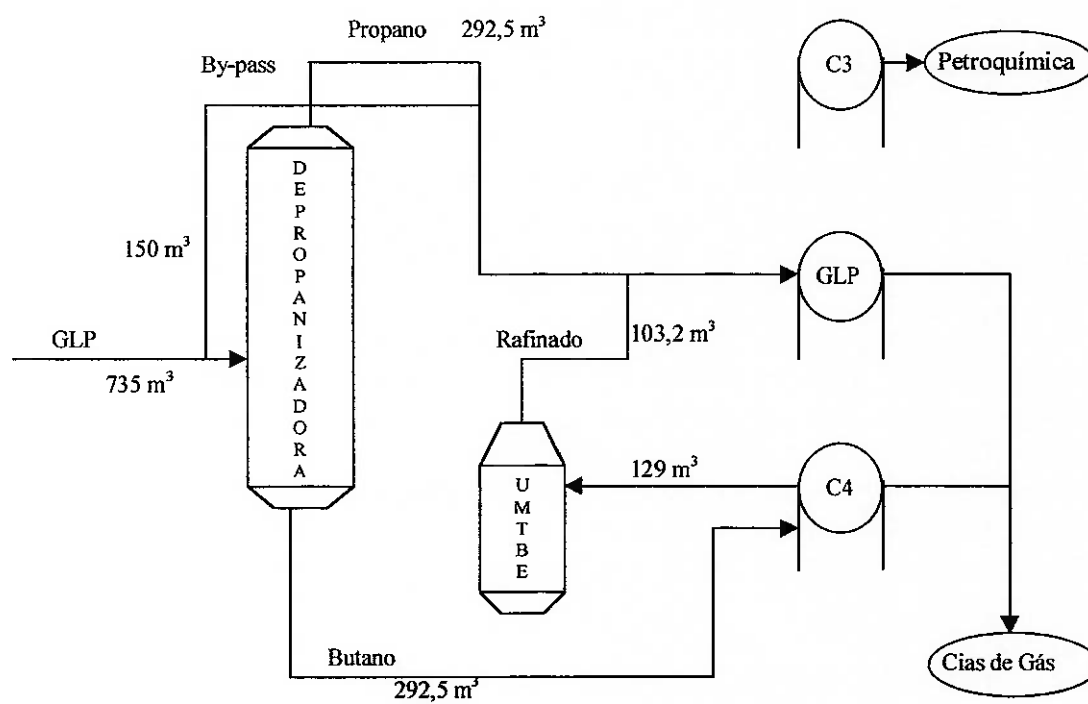


Figura 1.14 Fluxograma da unidade em campanha de butano intermediário

- Os modos de operação da torre são dois excludentes, ou opera-se em campanha de PropInt, ou em campanha de butano intermediário.
- Uma vez definida a campanha, os fluxos de material através dos processos, dependem exclusivamente do fluxo e das características da matéria-prima, no caso desse problema, o GLP produzido pelas demais unidades da refinaria.

Até agora nesta formulação, foram consideradas apenas unidades de processamento, que operam em regime permanente, continuamente transformando a carga em um ou mais produtos, de modo que o balanço de material em estado estacionário seja satisfeito. E a partir de agora, serão tratadas as unidades de armazenamento, que não alteram a carga, apenas armazenam-na para utilização posterior. E neste caso, o balanço de material deve incluir o termo de acúmulo, não estacionário.

As decisões que serão tomadas nessas unidades, são os volumes de produtos que serão entregues ao longo do tempo. O objetivo principal dessas decisões é garantir espaço de armazenagem de GLP e Butano. Porém os valores de estoque máximo que será considerado no problema, não são as capacidades máximas das esferas, e sim, valores considerando espaços de segurança, conforme diretrizes internas de segurança.

O butano é entregue aos clientes como GLP, através de uma mistura, na qual o volume de butano deve ser no máximo igual a 80% do volume de GLP. Assim o preço de comercialização desse produto é o mesmo preço praticado na venda de GLP.

A demanda de GLP é definida semanalmente em reunião com representantes de todas as companhias clientes. Nessa reunião, definem-se cotas máximas e mínimas que devem ser enviadas. Sendo que, se o envio real estiver dentro desse intervalo, nenhum transtorno será causado aos clientes, pois suas capacidades de armazenagem e envazamento estarão sendo respeitadas.

O envio de PropInt trata-se de uma decisão corporativa, tomada com a participação da REVAP na reunião de alocação, já definida neste trabalho. Assim expedição deste produto não é uma variável do problema.

Os bombeios de GLP para as companhias devem ocorrer preferencialmente durante o período diurno. Embora sejam possíveis de ocorrer em situações contingenciais, bombeios

nos turnos noturnos, eles incorrem em maiores custos de mão de obra e transtornos para os clientes, devendo assim, serem evitados.

Assim, o objetivo dessa programação, seria maximizar a receita de entrega de GLP (e butano) e o valor da produção de PropInt, minimizando o número de trocas de campanha butano intermediário/PropInt. Respeitando, ainda, o balanço de material através do processo, os estoques máximos e mínimos de GLP e butano, o estoque máximo de PropInt (não será considerado estoque mínimo desse produto, uma vez que não será considerada sua expedição), a capacidade máxima de expedição de GLP, a proporção máxima de butano no GLP e o intervalo de demanda do GLP.

As principais razões para a escolha desse sistema são:

- O parque de GLP da REVAP tem uma capacidade de armazenamento relativamente pequena em relação a escala da refinaria, capaz de absorver pouco mais de 17.000 toneladas, suficiente para doze dias de operação da planta, em plena carga;
- A flutuação da demanda de GLP é por vezes acentuada, devido a fatores externos a refinaria;
- Necessidade de maximização da produção de Propeno Petroquímico (propint), através da redução do estoque médio de GLP, sem que isso acarrete prejuízos para o mercado consumidor. Uma das possibilidades que se vislumbra, porém que não será considerada neste trabalho de formatura, seria a ampliação da disponibilidade de esferas para esse produto de maior valor agregado (cerca de 50% superior ao do GLP, em média), acarretando reflexos diretos na margem de lucro da refinaria;
- Um sistema que exige uma atenção múltipla do programador de produção, com poucas ferramentas disponíveis em computador;
- Um sistema de fácil representação matemática, bem como pode viabilizar o uso de softwares disponíveis no mercado, com interface amigável e tempo de resposta compatível com a agilidade que se necessita no dia-a-dia da produção;
- A viabilidade deste problema para um trabalho de formatura;
- Possibilidade de futuras extensões do modelo para as demais unidades da refinaria.

1.7 O estágio

O vínculo do autor deste trabalho com a empresa acima descrita é um estágio na gerência de otimização, mais especificamente na coordenação de acompanhamento do processo e programação da produção.

A principal atividade desenvolvida pelo estagiário é auxiliar o programador de produção. O estagiário desenvolveu planilhas de auxílio a programação detalhada, realizada diariamente pelo programador, em conjunto com pessoas de diversas áreas. Além disso o estagiário deve propor melhorias nessa atividade, que é muito dinâmica.

1.8 Objetivos do Trabalho

O objetivo do trabalho é desenvolver um modelo de otimização, baseado em programação não-linear inteira mista, para o subsistema da torre depropanizadora da REVAP, que possa gerar uma programação melhor, respeitando restrições técnicas e de demanda.

1.9 Abrangência do Trabalho

Este trabalho visa o desenvolvimento de um modelo para o problema formulado, considerando os objetivos reais do programador de produção para o sistema objeto do estudo, as variáveis de entrada e o cálculo da função objetivo.

Assim, a abrangência deste trabalho será a REVAP, mais precisamente a unidade de GLP, definida anteriormente, neste trabalho.

Porém, espera-se que o presente trabalho possa ser aproveitado para possíveis adaptações do modelo que será propostos, para outras unidades da REVAP, ou mesmo para outras refinarias da PETROBRAS.

1.10 Relevância do Trabalho

Em um ambiente tipicamente competitivo, com a atual política de expansão internacional, a PETROBRAS está cada vez mais empenhada em melhorar os seus processos operacionais, visando melhorar consequentemente, os seus resultados econômicos.

Este trabalho está em sintonia com esse empenho, já que tem como objetivo levantar informações que possam contribuir para a melhoria da sistemática de Programação e Controle da Produção de uma refinaria de petróleo.

Ainda, a programação do subsistema da torre depropanizadora, se não adequada, pode levar a uma redução de carga nas unidades principais, por falta de espaço de armazenagem, gerando assim, prejuízos para a companhia.

1.11 Estrutura do trabalho

Este trabalho está estruturado em 5 capítulos. O presente capítulo, trata da apresentação da empresa (PETROBRAS), da refinaria (REVAP) e a formulação do problema objeto deste trabalho. Assim, apresenta também uma descrição do parque de GLP bem como dos processos de planejamento, programação e controle da produção na REVAP, fundamentais para uma melhor compreensão do problema apresentado.

O segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre a teoria clássica de *scheduling*, e a programação em refinarias. No terceiro capítulo, será desenvolvido o modelo utilizado para a resolução do problema em estudo. O quarto capítulo descreve a implementação do modelo desenvolvido e a apresentação dos resultados. O último capítulo será destinado a conclusões e considerações finais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este item tem como objetivo, reunir o embasamento teórico necessário para a realização deste trabalho. A primeira parte deste capítulo será composta por conceitos da teoria clássica de *scheduling* e a segunda, de conceitos dessa mesma teoria aplicada no caso específico de uma refinaria de petróleo.

2.1 Teoria Clássica de Programação da Produção (*Scheduling*)

Na teoria clássica (Pinedo, 1995), *Scheduling* consiste fundamentalmente na alocação de recursos disponíveis ao longo do tempo, a fim de realizar uma coleção de tarefas. É ainda, um processo de tomada de decisão que visa a otimização de um ou mais objetivos. Os recursos e as tarefas podem ser os mais diversos possíveis. Os recursos podem ser as máquinas em uma oficina, pistas de decolagem em um aeroporto, equipes de trabalho em um local de construção, unidades de processamento e assim por diante. As tarefas podem ser as operações em um processo de produção, decolagens e aterrissagem em um aeroporto, estágios um projeto de construção, execuções de programas de computador, e assim por diante. Cada tarefa pode ter um nível diferente da prioridade, bem como ocorrer em horários e dias diferentes.

Os objetivos podem também ter diversas formas. Um objetivo possível é a minimização do tempo necessário para a realização de uma determinada tarefa; outra forma é a minimização do número de tarefas completadas além da data prevista.

Scheduling é um processo de tomada de decisão que existe na maioria dos sistemas de manufatura e produção, assim como na maioria dos ambientes de processamento de informações. Existe também nas atividades de transporte e da entrega de encomendas, bem como na maioria das atividades industriais.

Ao contrário do *planning*, *scheduling* considera períodos de tempos menores (dias). O principal objetivo do *scheduling* é a geração de informações detalhadas sobre decisões de sequenciamento de tarefas e alocação destas últimas em equipamentos disponíveis visando atender as metas definidas pelo *planning*. Em geral, o *scheduling* é alvo de profissionais

diretamente ligados à etapa produtiva e está estritamente relacionado à simulação/otimização computacional (Magalhães et al., 1998)

O *scheduling* é a ligação diária entre o processo de manufatura e os clientes, cuja forma de realizar-se varia com as características do processo de produção e a natureza do mercado onde a empresa atua (Bodington e Shobrys, 1995).

No desenvolvimento da atividade de *scheduling*, o tempo e as operações movem-se continuamente, do início para o fim do período considerado, com as revisões levando em conta o que está realmente acontecendo (Pinedo, 1995).

Pinedo (1995) enumera alguns modelos de programação, que estão descritos a seguir:

- Modelo de máquina única

Esse modelo é importante por várias razões. O ambiente de máquina única é muito simples e consiste de um caso especial de todos outros ambientes. Além disso, mostram propriedades não apresentadas em modelos de máquinas paralelas e em séries. Os resultados obtidos nesse modelo não apenas soluções para ambientes de máquina única, mas também podem gerar bases para heurísticas para serem usadas em ambientes mais complicados. Na prática, os sistemas mais complexos são freqüentemente, decompostos em subproblemas compostos por máquina única.

- Modelo de máquinas paralelas

A configuração de máquinas paralelas é um assunto importante tanto do ponto de vista teórico, quanto do ponto de vista prático. Do teórico, essa configuração é uma generalização do sistema de máquina única, e uma particularidade de *flow shop* (que será descrito a seguir). Do ponto de vista prático, ela é importante pois essa configuração é muito comum no mundo real. Além disso, técnicas para máquinas em paralelo são freqüentemente usados nos procedimentos de decomposição de sistemas multi-estágio.

- *Flow shop*

Em muitas produções ou montagens, um grande número de operações devem ser feitas em todas as tarefas. Freqüentemente, essas operações tem que seguir a mesma ordem, o que implica que as tarefas seguem a mesma rota. Assim, as máquinas assumem uma configuração em série, e esse ambiente é denominado *flow shop*.

- *Open shop*

No modelo de *flow shop*, todas as tarefas seguem a mesma rota. Porém na prática, as rotas das tarefas são freqüentemente irrelevantes e é tarefa do programador decidi-las. Assim, quando as rotas das tarefas são abertas o modelo é chamado de *open shop*.

- *Job shop*

Quando as rotas são fixas, porém não necessariamente iguais para cada tarefa, o modelo é conhecido por *job shop*.

2.2 Programação da Produção de Derivados de Petróleo

A atividade de *scheduling* em uma refinaria é caracterizada pela necessidade de uma quantidade significativa de tomadas de decisão em uma base diária, lidando com situações que combinam operações contínuas e por bateladas (Bodington e Shobrys, 1995).

Embora muitas destas decisões, tais como a escolha do tanque que receberá um item de petróleo, pareçam triviais em um primeiro momento, podem gerar conseqüências importantes alguns dias depois.

Além disso, há um range amplo de atividades diferentes que precisam ser programadas quase ao mesmo tempo e um grande número de influências externas que devem ser levadas em consideração para a tomada de decisões.

Do ponto de vista computacional, os problemas de programação de produção são normalmente difíceis de resolver e quando boas soluções são encontradas elas trazem benefícios altamente tangíveis (Almeida, 2000).

O problema de programação de produção, por ser um problema de otimização combinatorial (Chambers et al., 1995), está entre aqueles de mais difícil resolução pelos cientistas da computação.

Para resolver o problema de programação de produção, deve-se realizar uma distribuição de decisões no tempo, de tal forma que no final do período planejado, o lucro previsto pelos aplicativos do Planejamento da Produção, baseados em Programação Linear, seja plenamente realizado (Hofferl, 1988).

O principal fator de dificuldade para a afirmação de um método de solução definitivo para o problema de *scheduling* é a falta de uma técnica de programação matemática apropriada combinada com a complexidade do problema. Isto porque, o problema de *scheduling* tem elementos discretos na chegada de petróleo, armazenamento, mistura e expedição de produtos e elementos contínuos na operação das unidades de processo (Pelham, 1996).

Segundo Pelham e Pharris (1996), a atividade de programação da produção ainda aguarda por uma solução quanto ao atendimento desses critérios tornando árdua a tarefa de prever como vai ser o desenvolvimento desta atividade daqui há cinco anos, pois o surgimento de um pacote de programação de produção rigoroso e abrangente permanece além desse horizonte.

Cutting (1995), indica a atual falta de ferramentas para preencher o espaço existente entre as áreas de Planejamento de Produção, bem estabelecida através da utilização da tecnologia de Programação Linear e as operações da planta. Conforme pode ser observado na Figura 2.1.

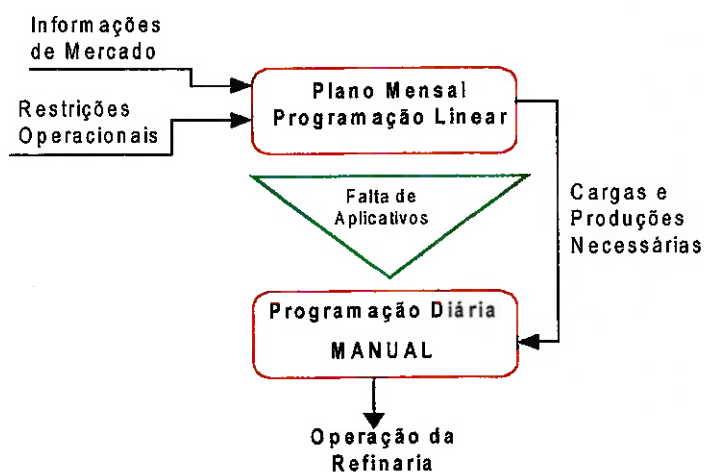


Figura 2.1 Contexto do scheduling x indisponibilidade de aplicativo

Fonte: Adaptado de Cutting (1995)

Desta forma, existe uma vulnerabilidade na cadeia de suprimento, pois torna-se bastante difícil obter-se uma desagregação consistente da informação gerada pelo planejamento para a programação de produção. Assim os objetivos de produção de curto prazo podem não ser consistentes com os de médio prazo, dependendo exclusivamente da ação do programador de produção. Por outro lado, não é possível traduzir adequadamente os objetivos de produção de curto prazo em condições operacionais para as unidades de processamento.

Algumas das grandes empresas de petróleo estão desenvolvendo sistemas específicos de *scheduling* para utilização interna, baseadas em simulação (Magalhães et al., 1998). Mas até recentemente não há disponibilidade de sistemas desenvolvidos comercialmente para utilização pela indústria do refino em geral (Cutting, 1995).

Em vista disso, a maioria dos programadores de produção de refinarias de petróleo utilizam métodos manuais auxiliados por planilhas, para realização de cálculos específicos. Tentativas de utilização de sistemas de *scheduling* desenvolvidos para outras indústrias, onde os processos por bateladas predominam, não tiveram sucesso. Na falta de ferramentas adequadas para as refinarias, os programadores de produção tem as suas atividades limitadas à determinação de uma seqüência de operações factível, restando pouco ou nenhum tempo para a encontrar a seqüência ótima.

Por outro lado, o investimento para criação de aplicações de tecnologia digital ao processo de programação de produção de refinarias de petróleo começou a ser significativo a partir da década de 90 (Moro et al, 1998). Ballintjin (1993) discutiu a falta de modelos rigorosos para programação de refinarias e comparou formulações contínuas e mistas-inteiras, mostrando a baixa aplicabilidade dos modelos baseados apenas em variáveis contínuas.

Ao longo da década podemos notar que as iniciativas de desenvolvimento de sistemas de programação de produção baseavam-se inicialmente em regras heurísticas, passando a seguir pelos sistemas especialistas mais elaborados, enquanto que atualmente concentram-se em programação matemática (Moro, 1999).

Ainda, do mesmo autor, dispomos ainda do Desenvolvimento de Modelos para Planejamento e Programação de Produção em Refinarias de Petróleo (Moro, 2000).

Algumas modelos para utilização de *solvers* comerciais, com tempo de respostas rápido e por isso mesmo adequado para a aplicação no dia-a-dia da programação da produção em refinarias de petróleo, começam a surgir no mercado, como por exemplo , a Utilização de

Algoritmos Genéticos da Solução de Problema de Programação de Produção de uma Refinaria de Petróleo (Castro, 2001).

2.2.1 Métodos de solução para o *scheduling* em refinarias

Muitos pesquisadores têm buscado novas técnicas no campo da Pesquisa Operacional para a solução de problemas de *scheduling* de refinarias, produzindo resultados aproximados para uma classe geral de problemas ou soluções exatas para problemas específicos (Almeida, 2000)

Fazendo-se um levantamento dos tipos de ferramentas de computador mais freqüentemente utilizadas na tentativa de resolver os problemas de *scheduling* na indústria, podemos fazer a seguinte classificação:

- Simulação

Simulação é a abordagem mais comum para resolução do problema de *scheduling*, em função da sua ênfase na consistência da solução encontrada, permitindo identificar as conseqüências de uma programação escolhida (Bodington & Shobrys, 1995).

Um algoritmo de simulação inicia no tempo zero, avançando no tempo conforme a seqüência de eventos, que produzem decisões conforme regras pré-definidas para encontrar uma programação factível (Hofferl, 1988).

A atual disponibilidade de capacidade gráfica dos computadores permite uma forma eficiente de apresentação dos resultados obtidos com o simulador e uma interatividade razoável com o programador. Os gráficos de Gantt e as curvas de estoques de produtos ao longo do tempo são as maneiras clássicas de apresentação dos resultados obtidos.

De uma forma geral, os algoritmos de simulação podem ajudar a determinar a seqüência de operações, mas normalmente não levam em conta os direcionadores econômicos. Caso não se utilize nenhuma outra forma de inteligência computacional, a solução do problema de *scheduling* através de simulação reduz-se a um processo de tentativa e erro (Bodington e Shobrys, 1995).

- Otimização

Se considerarmos o problema de scheduling como um problema matemático, a determinação da melhor solução possível, ou otimização, nem sempre é possível em função da complexidade do mesmo (Bodington e Shobrys, 1995).

A Programação Linear é a técnica matemática mais comumente utilizada para a resolução de problemas de otimização do Planejamento de Produção. Contudo, os valores médios indicados pela solução obtida com a Programação Linear tem que ser alocados em um eixo de tempo contínuo, tornando necessário a resolução de problemas de sincronismo e disjunção (Hofferl, 1988).

O programador deve decidir se um carregamento de petróleo que chega à refinaria em um determinado momento, deve alimentar a unidade de destilação imediatamente ou deve ser armazenado em um tanque, junto com outros petróleos para utilização posterior. Também o programador não poderá utilizar uma carga hoje se a mesma ainda não estiver disponível. Tais problemas não são solucionados através de Programação Linear simples, uma vez que a resposta desta técnica é um valor médio para um determinado período de tempo. A questão é que a Programação Linear considera os objetivos econômicos, mas por causa de sua natureza estática, não pode converter o lucro em uma realidade dinâmica (Hofferl, 1988).

Desta forma, o problema de scheduling é dinâmico e não pode ser resolvido por uma programação linear estática. Mesmo uma programação linear que trabalhe com períodos de tempo mais curtos não é uma maneira factível para resolução do problema. O problema de scheduling necessitaria de uma Programação Linear com períodos de tempo com comprimentos diferentes para cada batelada, os quais não são conhecidos previamente, tornando a solução não trivial (Hofferl, 1988).

Em vista disso, para resolver o problema de scheduling, utiliza-se uma extensão da Programação Linear, denominada Programação Inteira Mista (MIP), que permite utilizar variáveis inteiras para decisão para poder lidar com questões de seqüência, quantidades mínimas de produtos e outros tipos de decisões sim/não. Mesmo assim, há três potenciais limitações na utilização desta técnica (Bodington e Shobrys, 1995):

- Tempo de Resposta

Os problemas MIP acabam tornando-se grandes, aumentando significativamente o tempo de resposta, mesmo utilizando-se linguagens e computadores modernos;

- Controle do processo de Solução

É usual interromper-se o processo de solução antes da sua convergência para o resultado ótimo, em função do grande tempo demandado, utilizando-se sistemas especialistas para finalizar o processo;

- Interpretação dos Resultados

A habilidade para interpretar as soluções MIP deve estar bem desenvolvida, com um grande conhecimento das relações entre os dados de entrada e os resultados de saída, pois sendo uma técnica de otimização, as alterações propostas podem acontecer em grande número em curto espaço de tempo.(Bodington e Shobrys, 1995).

Uma alternativa que se começa a utilizar com maior frequência no dia-a-dia, é a adoção de soluções preliminares com um modelo de otimização e posteriormente utilizar-se uma ferramenta baseada em simulação (Bodington e Shobrys, 1995).

2.2.2 Métodos de solução para a programação de UGLP

Pinto (2000) em sua tese, propõe um modelo de otimização para a unidade de GLP da REVAP, utilizando uma formulação mista-inteira linear (MINLP), que também será utilizada neste trabalho.

Em igualdade ao modelo que será proposto neste trabalho, Pinto (2000) divide o horizonte de tempo em um número fixo de janelas de tempo. Porém, em seu modelo, a duração desses intervalos é desconhecida. Essas janelas podem ser de dois tipos, uma denominada por ele de janela *hard*, cuja duração é conhecida *a priori* devido a decisões previamente tomadas. As demais janelas de tempo, denominadas *soft*, são totalmente livres, respeitando apenas a não sobreposição entre elas e suas subsequências, sendo que suas durações são definidas pelo algoritmo otimizador.

O modelo de Pinto (2000), admite a existência de várias unidades de processamento, que podem produzir uma variedade de correntes intermediárias, com propriedades diferentes, que podem ser misturadas para gerar os produtos finais desejados. Os aspectos básicos desta formulação são descritos por Moro et al. (1998) para o problema de planejamento de produção, onde a variável tempo não é considerada. Pinto (2000), estendeu essa formulação

para o problema de *scheduling*, onde as decisões devem ser seqüenciadas e a variável tempo é fundamental. Por outro lado, Pinto (2000) não considerou nem sua tese aspectos relacionados com qualidade do produto, em semelhança ao modelo que será descrito no próximo capítulo deste trabalho, garantindo assim a linearidade do problema.

No exemplo da tese de Pinto (2000), foi considerado um horizonte de 58 horas, durante os quais propano, GLP e butano devem ser produzidos, amostrados, analisados e entregues aos consumidores. Nele, o padrão de produção de GLP e as entregas de produtos são conhecidos, bem como a vazão de desejada para a alimentação da unidade de MTBE. São definidos os volumes de produtos que deverão ser entregues, durante as janelas denominadas *hard*. A função objetivo, busca a maximização de entregas de produtos e do inventário de PropInt.

A função objetivo do modelo proposto por Castro (2003), em sua tese, busca a maximização da receita gerada pela venda de GLP e butano intermediário e do acréscimo do valor do inventário de Propint. Nesse modelo, as vazões de envio de butano e GLP, diferentemente do modelo que será proposto neste trabalho, são consideradas constantes. Sendo assim o modelo deve decidir se há ou não o envio desses produtos.

Uma semelhança desse modelo com o deste trabalho é que as janelas de tempo são constantes e possuem duração de seis horas. Castro (2003) utilizou a metodologia de algoritmos genéticos para o processamento de seu modelo.

Ele utilizou um horizonte de dez dias (40 janelas de tempo) e encontrou uma solução viável bastante satisfatória em poucos minutos.

3 DESENVOLVIMENTO DE SOLUÇÃO PARA O SISTEMA DE GLP DA REVAP

Neste capítulo do trabalho será apresentado um modelo para solução do problema de programação do subsistema da torre depropanizadora da REVAP, apresentado sucintamente no primeiro capítulo deste trabalho.

Neste trabalho está sendo utilizada a metodologia de pesquisa operacional, que para resolver um problema em uma organização segue sete passos, conforme apresentados a seguir:

- **Passo 1 – Formulação do problema:** Nesse passo é definido o problema da organização, incluindo especificamente os objetivos e os sistemas da organização que devem ser estudadas antes do problema ser resolvido.
- **Passo 2 – Observação do sistema:** Nesse passo são coletados dados para estimarem os valores dos parâmetros que afetam o problema. Essa estimativa é utilizada para o desenvolvimento e evolução do modelo.
- **Passo 3 – Formulação do modelo matemático do problema:** Nesse passo é desenvolvido um modelo matemático, que busca representar o problema real.
- **Passo 4 – Verificação do modelo:** Nesse passo busca determinar se o modelo desenvolvido no passo 3 representa adequadamente a realidade.
- **Passo 5 – Escolha da alternativa mais adequada:** Nesse passo é escolhida a alternativa (se existir uma) mais adequada aos objetivos da organização.
- **Passo 6 – Apresentação dos resultados e conclusões do estudo para a organização:** Nesse passo são apresentados os resultados e recomendações da alternativa escolhida no passo 5, para a organização.
- **Passo 7 – Recomendações de implementação e evolução:** Nesse passo são feitas recomendações para a implementação da alternativa escolhida no passo 5, bem como recomendações de evolução da mesma.

Antes de descrever o modelo que será proposto neste trabalho, deve-se assumir algumas premissas, que estão apresentadas a seguir:

- A fim de tornar a solução desse problema viável, com as ferramentas existentes no mercado, o tempo deveria ser discretizado. Analisando a operação real da refinaria, observou-se que seria razoável uma programação com horizonte de cinco dias, sendo cada um deles, divididos em quatro turnos de seis horas. Assim, ficou definido que tal programação seria relativa ao período, que começaria às 06:00h, do primeiro dia e terminaria às 06:00h do sexto dia, conforme apresentado na Tabela 1.3.

Tabela 1.3 Discretização do tempo

| Turno considerado | Dia / Hora |
|-------------------|-------------------------------|
| t =1 | 06h00 a 12h00 do primeiro dia |
| t =2 | 12h00 a 18h00 do primeiro dia |
| t =3 | 18h00 a 24h00 do primeiro dia |
| t =4 | 00h00 a 06h00 do segundo dia |
| t =5 | 06h00 a 12h00 do segundo dia |
| t =6 | 12h00 a 18h00 do segundo dia |
| t =7 | 18h00 a 24h00 do segundo dia |
| t =8 | 00h00 a 06h00 do terceiro dia |
| t =9 | 06h00 a 12h00 do terceiro dia |
| t =10 | 12h00 a 18h00 do terceiro dia |
| t =11 | 18h00 a 24h00 do terceiro dia |
| t =12 | 00h00 a 06h00 do quarto dia |
| t =13 | 06h00 a 12h00 do quarto dia |
| t =14 | 12h00 a 18h00 do quarto dia |
| t =15 | 18h00 a 24h00 do quarto dia |
| t =16 | 00h00 a 06h00 do quinto dia |
| t =17 | 06h00 a 12h00 do quinto dia |
| t =18 | 12h00 a 18h00 do quinto dia |
| t =19 | 18h00 a 24h00 do quinto dia |
| t =20 | 00h00 a 06h00 do sexto dia |

- A produção de GLP pelas demais unidades da refinaria serão um parâmetro para o modelo, já que trata-se de uma variável de decisão do problema de programação das outras unidades da REVAP.
- Em semelhança ao valor da produção de GLP por outras unidades, a porcentagem de propano e butano no GLP, são valores decorrentes das características do petróleo programado para o período, bem como da programação da UDAV e UFCC.

- Entregas de GLP (e butano) no período noturno causam grandes transtornos à refinaria e a seus clientes. Assim, será atribuído um custo de envio noturno, que busca quantificar inclusive os fatores não mensuráveis da operação.
- O envio de PropInt não será considerada no problema, uma vez que, conforme descrito no capítulo 1 deste trabalho, trata-se de uma decisão corporativa e foge do escopo deste trabalho. Assim, na prática o envio deste produto, se refletirá no modelo na forma de volume de estoque no início de período considerado.
- Como não será considerado o envio de PropInt no modelo, torna-se também desnecessária a restrição de estoque mínimo deste produto.
- As vazões do by-pass são as vazões de projeto da unidade.
- Os estoques máximos de armazenagem dos produtos são as respectivas capacidades de armazenagem.
- Os estoques mínimos dos produtos, foram definidos considerando características técnicas e de mercado.
- Os preços considerados para os produtos serão os preços praticados no dia da realização da programação.

Na descrição do modelo a seguinte notação será usada:

Índice:

T Turno (t=1...20)

Parâmetros:

PGU_t Produção de GLP nas unidades principais da refinaria (m³/turno)

BP_t Vazão de projeto no By-pass em campanha de PropInt (m³/turno)

BB_t Vazão de projeto no By-pass em campanha de Butano Intermediário (m³/turno)

RP Porcetagem de hidrocarbonetos de cadeias de 3 carbonos (propano) no GLP (% volume)

| | |
|------------------|---|
| RB | Porcetagem de hidrocarbonetos de cadeias de 4 carbonos (butano) no GLP (% volume) |
| QU _t | Carga da UMTBE (m ³ /turno) |
| TI | Teor de isobuteno na carga da UMTBE (% volume) |
| CT | Custo de troca de campanha (R\$/troca) |
| PG | Preço de venda de GLP no dia da programação (R\$/m ³) |
| PPI | Preço de venda de PropInt no dia da programação (R\$/m ³) |
| DIG | Demanda inferior total de GLP durante o horizonte (m ³) |
| DSG | Demanda superior total de GLP durento o horizonte (m ³) |
| EIB | Estoque mínimo de butano (m ³) |
| ESB | Estoque máximo de butano (m ³) |
| ESP | Estoque máximo de PropInt (m ³) |
| EIG | Estoque mínimo de GLP (m ³) |
| ESG | Estoque máximo de GLP (m ³) |
| VME _t | Volume máximo de envio de GLP + butano por turno (m ³ /turno) |
| M | Parâmetro auxiliar, constituído de um valor positivo grande |

Variáveis de decisão:

| | |
|-----------------|--|
| EG _t | Estoque de GLP no final do turno t (m ³) |
| EB _t | Estoque de butano no final do turno t (m ³) |
| EP _t | Estoque de PropInt no final do turno t (m ³) |
| PG _t | Quantidade de GLP final produzido no turno t (m ³) |
| PB _t | Quantidade de butano intermediário produzido no turno t (m ³) |
| PP _t | Quantidade de PropInt produzido no turno t (m ³) |
| k _t | Variável de decisão a qual assume 1 se o subsistema estiver operando em campanha de PropInt e 0 se estiver em campanha de butano intermediário |

VG_t Vazão de envio de GLP no período t (m^3/h)

VB_t Vazão de envio de butano no período t (m^3/h)

y_t Variável binária que assume 1 quando há envio de GLP e/ou PropInt e 0 caso contrário. Essa variável só existe nos turnos compreendidos entre às 18:00 h e 6:00, ou seja em t igual a 3, 4, 7, 8, 11, 12, 15, 16, 19 e 20.

A função objetivo a ser maximizada é a somatória do valor de GLP e butano entregue e do acréscimo do valor do inventário de PropInt, descontados os custos de troca de campanha. Assim sendo, o problema de programação não-linear misto multiperíodo é dado por:

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad RECEITA = & \sum_{t=1}^{20} (VG_t + VB_t) \cdot PG + \sum_{t=1}^{20} PP_t \cdot PPI - \sum_{t=1}^{19} |k_{t+1} - k_t| \cdot CT - \\ & \sum_{t=1}^5 (y_{4t} + y_{4t-1}) \cdot CN \end{aligned} \quad (3.1)$$

Sujeito a:

$$PG_t = BP \cdot k_t + (1 - k_t) \cdot [BB + QU \cdot (1 - TI) + \quad t = 1, 20 \quad (3.2)$$

$$(PGU - BB) \cdot RP]$$

$$PB_t = (1 - k_t) \cdot (PGU - BB) \cdot RB + k_t \cdot [QU \cdot (1 - TI) + \quad t = 1, 20 \quad (3.3)$$

$$(PGU - BP) \cdot RB]$$

$$PP_t = k_t \cdot (PGU - BP) \cdot RP \quad t = 1, 20 \quad (3.4)$$

$$EG_t = EG_{t-1} + PG_t - VG_t \quad t = 1, 20 \quad (3.5)$$

$$EB_t = EB_{t-1} + PB_t - VB_t - QU \quad t = 1, 20 \quad (3.6)$$

$$EP_t = EP_{t-1} + PP_t \quad t = 1, 20 \quad (3.7)$$

$$\sum_{t=1}^{20} (VG_t + VB_t) \geq DIG \quad (3.8)$$

$$\sum_{t=1}^{20} (VG_t + VB_t) \leq DSG \quad (3.9)$$

$$EG_t \geq EIG \quad t = 1, 20 \quad (3.10)$$

$$EG_t \leq ESG \quad t = 1,20 \quad (3.11)$$

$$EP_t \leq ESP \quad t = 1,20 \quad (3.12)$$

$$EB_t \geq EIB \quad t = 1,20 \quad (3.13)$$

$$EB_t \leq ESB \quad t = 1,20 \quad (3.14)$$

$$VB_t \leq 0,2 \cdot VG_t \quad t = 1,20 \quad (3.15)$$

$$VG_t + VB_t \leq VME \quad t = 1,20 \quad (3.16)$$

$$Y_{4t} \cdot M \geq VG_{4t} + VB_{4t} \quad t = 1,5 \quad (3.17)$$

$$Y_{4t-1} \cdot M \geq VG_{4t-1} + VB_{4t-1} \quad t = 1,5 \quad (3.18)$$

$$VG_t, VB_t, EG_t, EB_t, EP_t, PG_t, PB_t, PP_t \geq 0 \quad t = 1,20 \quad (3.19)$$

$$K_t = \{0,1\} \quad t = 1,20 \quad (3.20)$$

$$Y_{4t} = \{0,1\} \quad t = 1,5 \quad (3.21)$$

$$Y_{4t-1} = \{0,1\} \quad t = 1,5 \quad (3.22)$$

A equação 3.1, representa a função objetivo do problema. O primeiro termo dela representa a receita gerada pela venda de GLP e butano no horizonte considerado, o segundo, refere-se ao valor aumento do valor do inventário de PropInt no período. O terceiro termo representa o custo de mudança de campanha de operação da torre depropanizadora e o último termo representa a função de penalização de envio noturno de GLP e butano.

As três próximas equações podem ser melhor compreendidas através da observação das Figuras 1.13 e 1.14, presentes no primeiro capítulo deste trabalho.

A equação 3.2 representa a produção de GLP. O primeiro termo representa a produção em campanha de Propint, que resume-se a vazão no *by-pass*. O segundo, representa a produção em campanha de butano intermediário, que é a soma da vazão do *by-pass* com a produção de refinado pela UMTBE, com a corrente de propano proveniente da torre depropanizadora.

A equação 3.3 representa a produção de butano intermediário. O primeiro termo representa a produção em campanha de butano intermediário, que é a vazão inferior da torre depropanizadora. O segundo termo refere-se a produção em campanha de PropInt, que é a soma da produção de refinado pela UMTBE com a vazão inferior da torre depropanizadora.

A equação 3.4 representa a produção de PropInt, que só ocorre em campanha de PropInt e resume-se a vazão superior da torre depropanizadora.

A equação 3.5 representa o estoque de GLP no final de cada turno, que é o valor do estoque no final do turno anterior, acrescido o valor da produção de GLP no referente turno e descontado o volume de GLP enviado no turno para as companhias de gás.

A equação 3.6 representa o estoque de butano intermediário no final de cada turno. Ela é semelhante a equação anterior, porém apresenta um termo a mais, que representa a vazão de saída do referido produto do estoque, com destino à UMTBE.

A equação 3.7 representa o estoque de PropInt, que é a soma do volume de estoque no final do turno anterior com a produção de PropInt no turno.

A equação 3.8 representa o volume mínimo da mistura GLP e butano intermediário que deve ser enviado as companhias de gás durante todo o horizonte de programação. A equação 3.9 é semelhante a anterior, porém trata-se do volume máximo ao invés do mínimo.

As restrições de estoques mínimo e máximo de GLP , são garantidas através das equações 3.10 e 3.11, respectivamente. A equação 3.12, representa a restrição de estoque máximo de PropInt, enquanto as restrições de estoques mínimo e máximo de butano intermediário são representados respectivamente pelas equações 3.13 e 3.14.

A equação 3.15 representa que o volume de butano intermediário enviado em um turno não deve ser superior a vinte por cento do volume de GLP enviado no referido turno.

A capacidade máxima de envio da mistura GLP e butano intermediário em um turno está representada pela equação 3.16.

A equação 3.17 faz com que a variável y_t assumo valor 1 se houver envio nos turnos compreendidos entre às 0:00h e às 6:00h e 0, caso contrário. Idem a equação 3.18, porém representando os turnos compreendidos entre às 18:00h e às 24:00h.

A equação 3.19 garante que as variáveis VG_t , VB_t , EG_t , EB_t , EP_t , PG_t , PB_t , PP_t pertençam ao conjunto de números reais não negativos.

E finalmente, as três últimas equações representam, respectivamente, que a variável que indica o tipo de campanha realizada no turno e as que indicam envio noturno de produtos sejam binárias.

4 PROGRAMAÇÃO OTIMIZADA DA UNIDADE DE GLP DA REVAP

Neste capítulo, será apresentada uma aplicação do modelo de programação de produção da unidade de GLP da REVAP. Primeiramente serão apresentados os resultados obtidos. Em seguida será realizado um teste de validação do modelo e em seguida o modelo será aplicado a uma outro período, a fim de validá-lo como ferramenta de *scheduling* da UGLP.

4.1 Software Utilizado

O mercado dispõe de diversas ferramentas para solução de problemas de otimização comerciais. Dentre as principais ferramentas comerciais identificadas, optamos pelo **WHAT'S BEST!**, um suplemento do software Excel da Microsoft. Na Tabela 4.1, estão apresentados as principais características desse software.

Tabela 4.1 Características principais do *WHAT'S BEST!*

| NOME | WHAT'S BEST! |
|---|---|
| Empresa | LINDO Systems, Inc. |
| Plataformas | PC – Macintosh |
| Formatos Entrada MPS Planilha | Não Sim |
| Prog. Inteira Binário: Puro/Misto Inteiro: Puro/Misto Não Linear | Sim/Sim Sim/Sim Sim |
| Comentários | (1) Cria modelos baseados em planilha. (2) Pode lidar com modelos grandes |

Fonte: Adaptado de Pinto (2000)

Os principais motivos para a seleção desse otimizador, são os seguintes:

- Pode ser executado em microcomputadores Pentium e está totalmente integrado ao Excel, sendo que o usuário utiliza as planilhas dele para a construção do modelo. Isto facilita bastante a utilização deste pacote, pois o produto Excel é muito difundido nas empresas, em particular, também na PETROBRAS.
- Apresentam um tempo de resposta bastante adequado para solução de problemas de *scheduling* da planta no dia-a-dia;
- Têm capacidade para solução dos problemas de otimização do porte do problema formulado neste trabalho de formatura (vinte turnos de seis horas), compatível com o um horizonte típico considerado pelo programador de produção de refinarias.

A planilha que apresenta o modelo para a utilização do *WHAT'S BEST!* deve conter a seguinte estrutura:

- Células fixas: destinadas aos parâmetros do modelo, que devem ser preenchidas pelo usuário.
- Células ajustáveis: que representam as variáveis de decisão do problema e são manipuladas pelo *WHAT'S BEST!*.
- Células variáveis: que são atualizadas automaticamente e dependem das células fixas e das ajustáveis.
- Células de restrições: compõem um conjunto de células, onde o *WHAT'S BEST* armazena as restrições do modelo. Essas células compara valores de duas ou outras células.
- Célula da função objetivo: essa célula é um tipo particular de célula variável, cujo valor deve ser maximizado ou minimizado pelo otimizador.

Durante o processo de otimização no *WHAT'S BEST!*, as células ajustáveis são modificadas dentro dos limites especificados pelas restrições. Para cada solução viável, o modelo é recalculado e um novo valor da função objetivo é gerado. Quando o processo de otimização chega ao fim, a solução ótima é a melhor combinação das células ajustáveis, na qual a função objetivo atinge seu valor máximo ou mínimo, satisfazendo as restrições preestabelecidas.

Ao final do processamento, o programa gera dois relatórios:

- Relatório de *status*: esse relatório apresenta as principais características do modelo, como o número de células numéricas, ajustáveis, etc. Além disso apresenta as características da solução, como o tipo de ótimo encontrado (local ou global), tempo de solução, valor da função objetivo e número de tentativas de solução até o encontro da solução.
- Relatório de resposta: esse relatório apresenta todas as células utilizadas pelo otimizador, indicando seu endereço na planilha, seu valor inicial e final e seu tipo. As células são apresentadas divididas em três grupos, célula objetivo, células ajustáveis e células de restrições.

4.2 Dados de Entrada

Os parâmetros do modelo, bem como os seus respectivos valores e unidades de medida, estão listadas na Tabela 4.2. A fim de garantir a segurança da informação da refinaria os dados referentes a preços e custos são fictícios. Na semana de aplicação do modelo, todos os parâmetros que podiam ser diferentes em cada turno possuíam o mesmo valor. Porém, é importante ressaltar que não há necessidade desses valores serem iguais em todos os turnos.

Tabela 4.2 Parâmetros do modelo

| Parâmetro | Descrição | Unidade | Valor |
|---------------------------|---|--------------------|-------|
| PGU_t ($t=1...20$) | Produção de GLP nas unidades principais da refinaria | m^3/turno | 735 |
| BP_t ($t=1...20$) | Vazão de projeto no By-pass em campanha de PropInt | m^3/turno | 500 |
| BB_t ($t=1...20$) | Vazão de projeto no By-pass em campanha de Butano Intermediário | m^3/turno | 150 |
| RP | Porcetagem de hidrocarbonetos de cadeias de 3 carbonos (propano) no GLP | % vol | 50 |

| | | | |
|---------------------------|--|--------------------|-------|
| RB | Porcetagem de hidrocarbonetos de cadeias de 4 carbonos (butano) no GLP | % vol | 50 |
| QU_t ($t=1...20$) | Carga da UMTBE | m^3/turno | 129 |
| TI | Teor de isobuteno na carga da UMTBE | % vol | 20 |
| CT | Custo de troca de campanha | R\$/troca | 14700 |
| PG | Preço de venda de GLP | R\$/ m^3 | 100 |
| PPI | Preço de venda de Propint | R\$/ m^3 | 150 |
| DIG | Demanda inferior total de GLP durante os vinte turnos. | m^3 | 8500 |
| DSG | Demanda superior total de GLP durante os vinte turnos. | m^3 | 14200 |
| EIB | Estoque mínimo de butano | m^3 | 1800 |
| ESB | Estoque máximo de butano | m^3 | 9000 |
| EB_0 | Estoque inicial de butano | m^3 | 7500 |
| ESP | Estoque máximo de PropInt | m^3 | 2300 |
| EP_0 | Estoque inicial de PropInt | m^3 | 1500 |
| EIG | Estoque mínimo de GLP | m^3 | 1400 |
| ESG | Estoque máximo de GLP (m^3) | m^3 | 15000 |
| EG_0 | Estoque inicial de GLP (m^3) | m^3 | 3000 |
| k_0 | Tipo de campanha da unidade de GLP em $t=0$ | | 1 |
| VME_t ($t=1...20$) | Volume máximo de envio de GLP + butano por turno | m^3/turno | 1200 |
| M | Parâmetro auxiliar, constituído de um valor positivo grande | | 10000 |

4.3 Resultados obtidos

Após a construção do modelo na planilha do Excel, utilizando as funções do *WHAT'S BEST!*, o modelo foi processado. Em duas horas oito minutos e cinquenta e nove segundos, foi encontrado um ótimo local do problema, que possui 152 restrições e 70 células ajustáveis, sendo 30 delas inteiras. A planilha pode ser observada no Anexo A, enquanto os relatórios de *status* e de resposta do programa estão nos Anexos B e C, respectivamente.

A função objetivo do modelo alcançou o valor de R\$ 1.291.050, sendo a componente relativa a entrega de GLP responsável por maior parte dela, com o valor de R\$ 1.066.080. A entrega de butano intermediário contribuiu com R\$ 133.920 e a produção de PropInt, com R\$ 105.750. A quantidade de trocas de campanha, reduziu o valor da receita total em R\$ 14.700 e a solução não apresentou nenhuma necessidade de envio noturno, sendo nula a contribuição dessa operação na função objetivo. Esses valores podem ser observados na Figura 4.1.

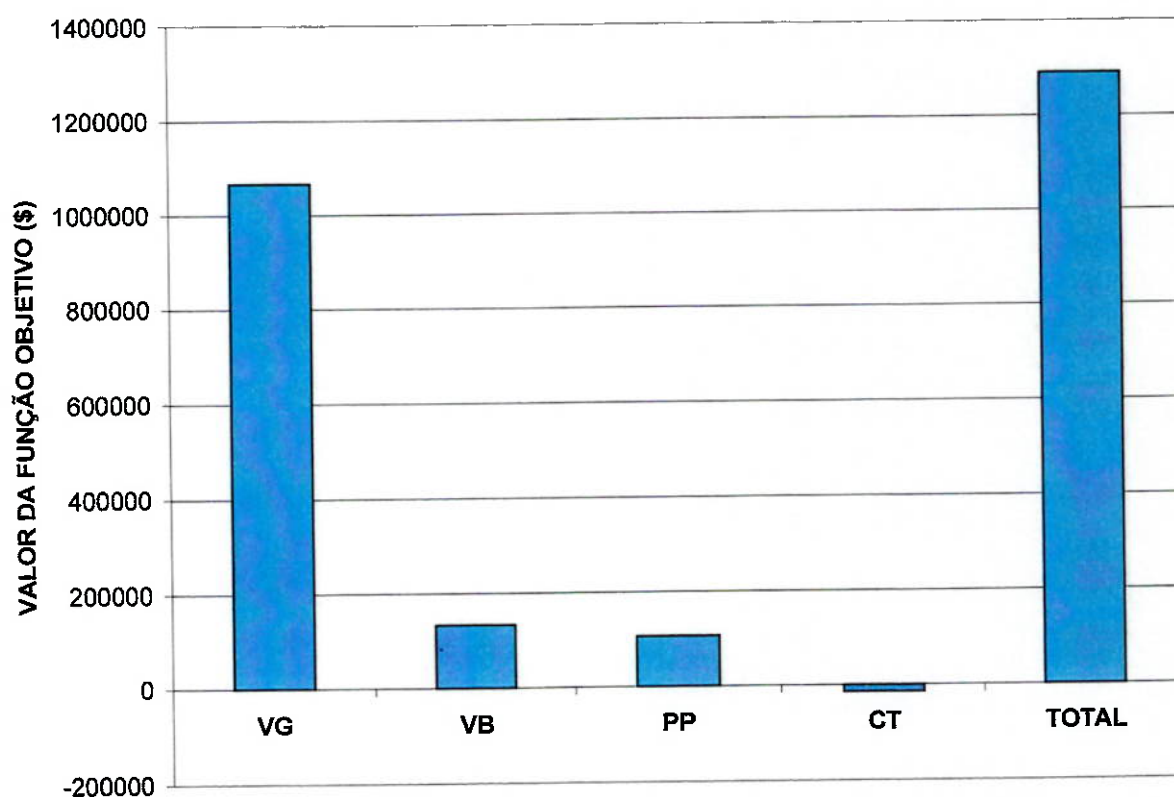


Figura 4.1 Composição da função objetivo com o modelo otimizado

Na obtenção desses resultados, o modelo otimizado definiu que a unidade deve operar em campanha de PropInt, durante 6 turnos, sendo que ocorreu apenas uma troca durante o horizonte considerado. A Figura 4.2 mostra o tipo de campanha em a unidade está operando durante os turnos da programação.

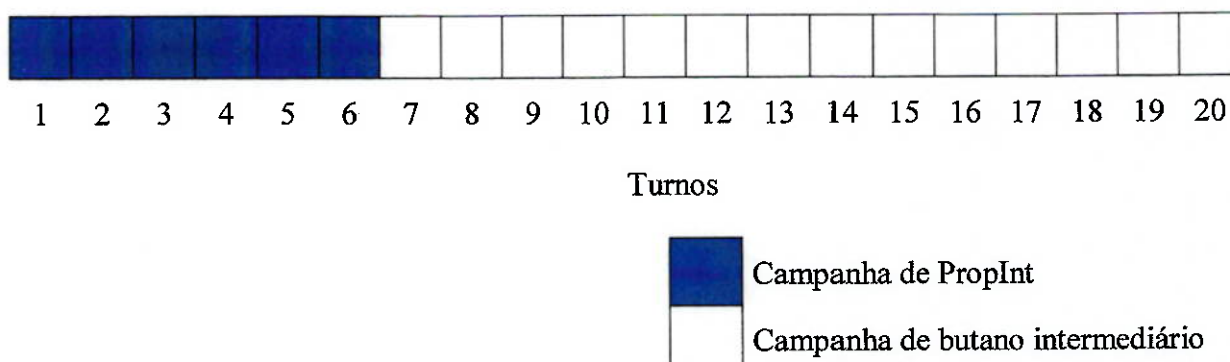


Figura 4.2 Campanhas realizadas na unidade

Ficou definido ainda, que ocorreriam envios de produtos em todos os períodos, com exceção aos períodos noturnos. Além disso, definiu-se que todos os envios seriam realizados na capacidade máxima, sendo que em nenhum dos turnos seriam enviados apenas GLP e que em todos a restrição de porcentagem máxima de butano intermediário na mistura seria atendida. Esse cenário está apresentado na Figura 4.3.

Durante todo o horizonte foram produzidos 705 m^3 de PropInt, enviados $10.660,8 \text{ m}^3$ de GLP e $1.339,2 \text{ m}^3$ de butano intermediário, conforme apresentado na Figura 4.4.

O volume de estoque de PropInt, que no início do período era de 1500 m^3 , chegou ao final com o valor de 2205, sendo que em instante algum, ultrapassou seu limite superior. A evolução está apresentada na Figura 4.5.

A evolução dos estoques de GLP e butano intermediário podem ser observados nas Figuras 4.6 e 4.7, onde verifica-se o atendimento das restrições de estoques mínimos e máximos dos dois produtos. O estoque de GLP oscilou entre os valores de 1500 e 3000 m^3 , fechando o período muito próximo do valor inicial (apenas 21 m^3 abaixo). O inventário de butano sofreu, ao longo de todo o horizonte considerado, um acréscimo de 1500 m^3 em seu valor inicial, fechando o período no limite máximo de 9000 m^3 .

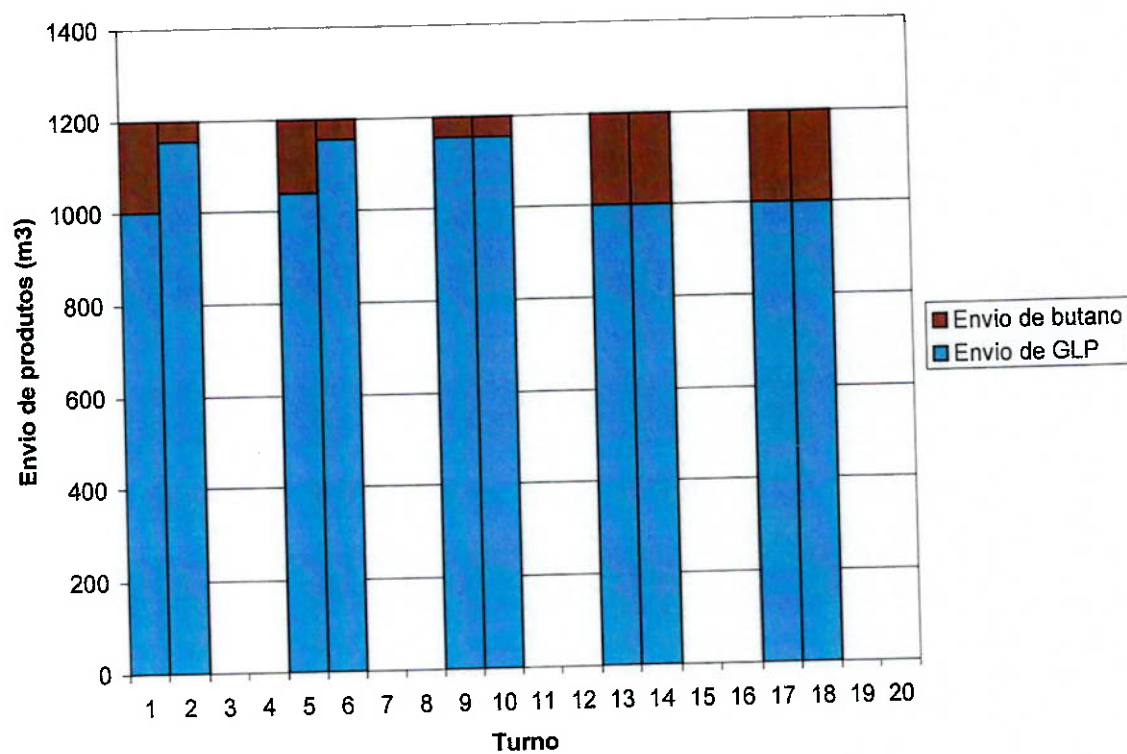


Figura 4.3 Envio de GLP e butano intermediário

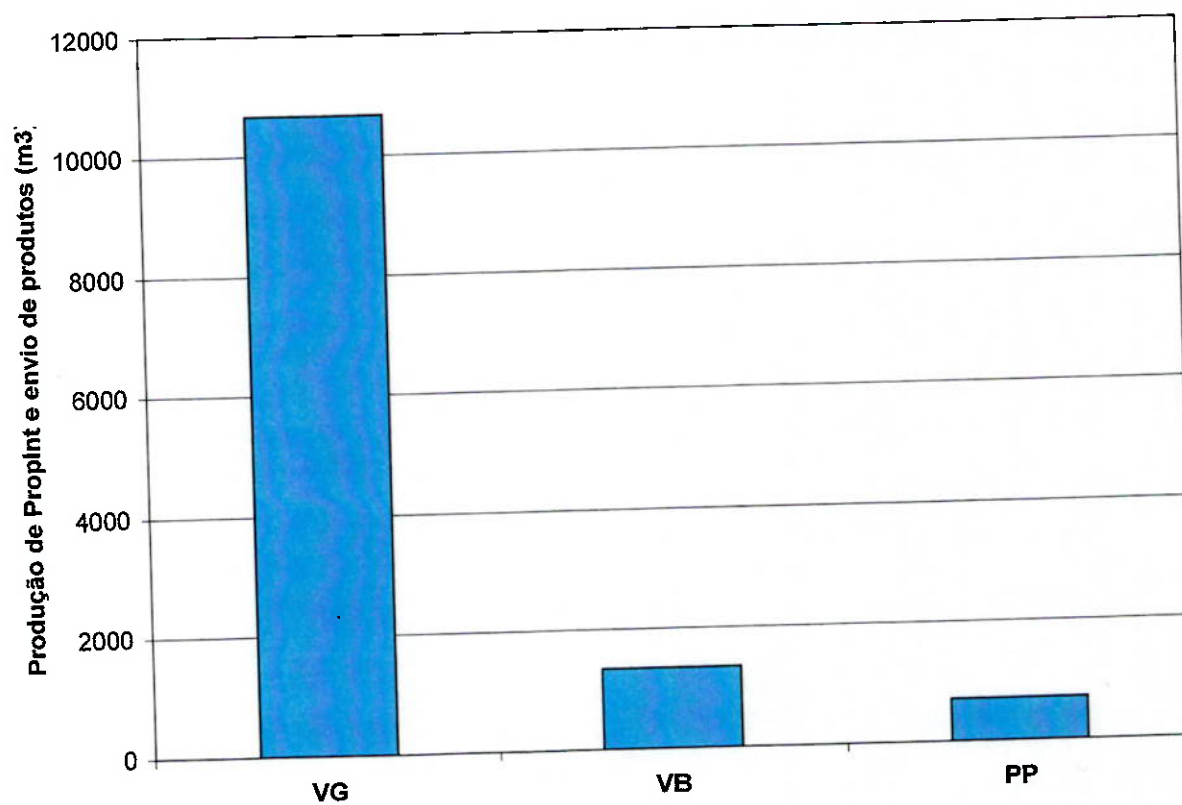


Figura 4.4 Volumes totais produzidos e enviados

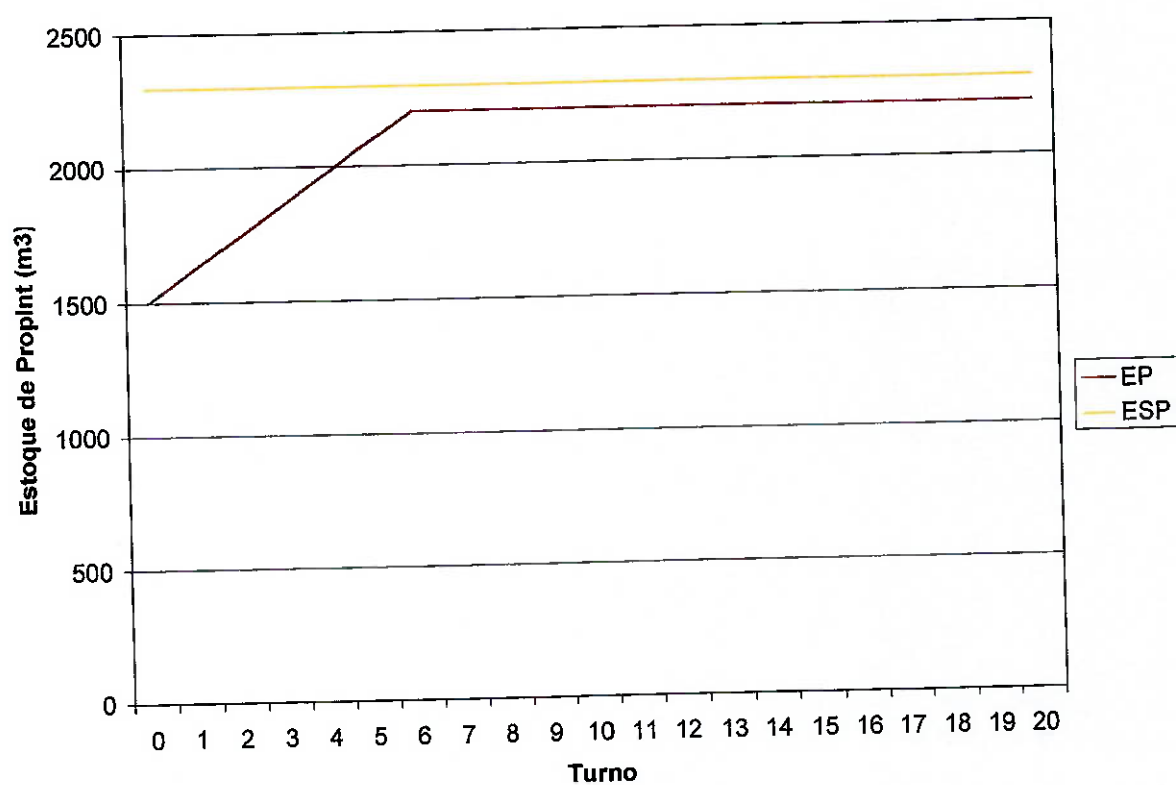


Figura 4.5 Evolução do estoque de PropInt

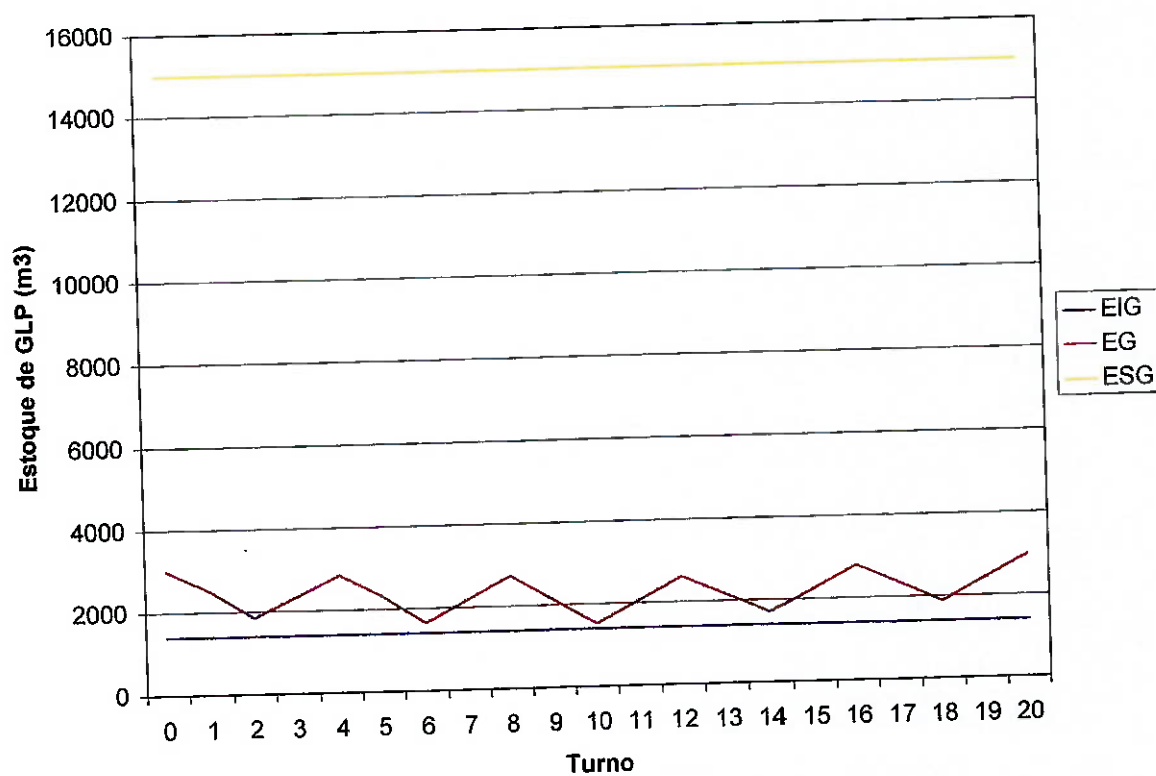


Figura 4.6 Evolução do estoque de GLP

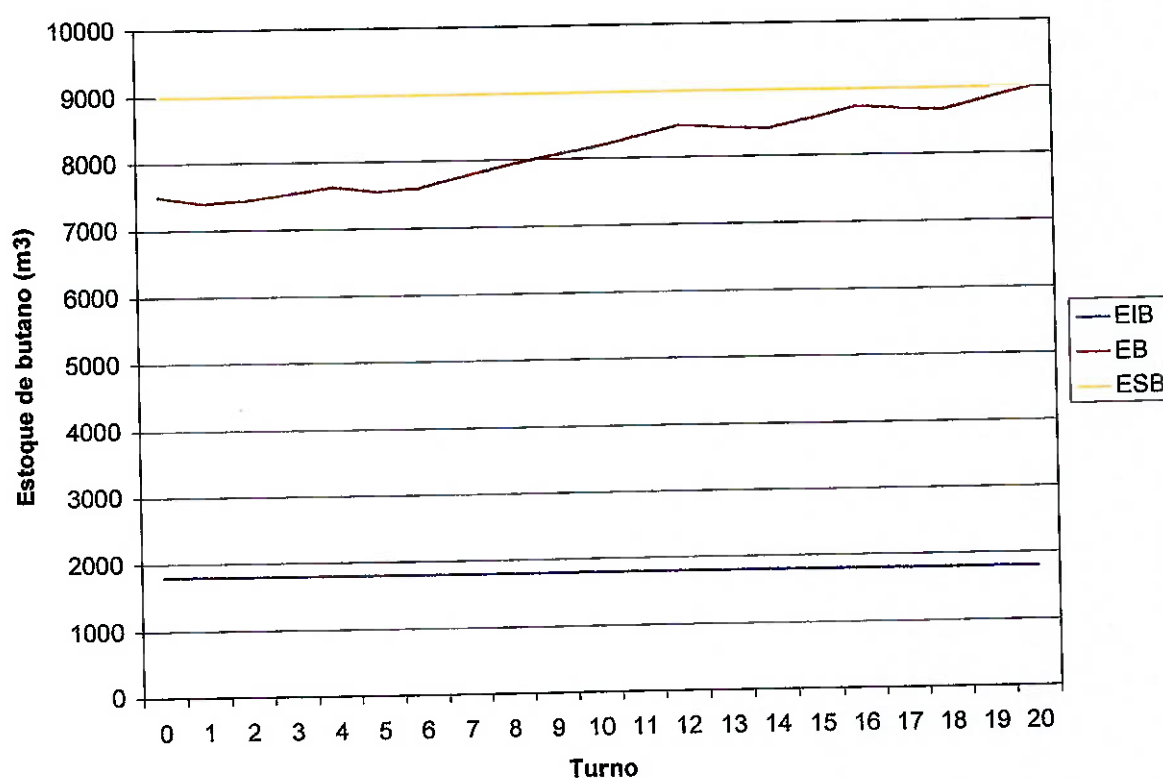


Figura 4.7 Evolução do estoque de butano intermediário

4.4 Teste de validação do modelo

A fim de verificar se o modelo matemático desenvolvido está representando adequadamente a realidade, foi realizado um teste de validação, onde alguns parâmetros do problema são alterados e verifica-se se o resultado varia de forma coerente. Primeiramente variou-se do volume de GLP produzido por turno pela UDAV e UFCC e, em seguida, variou-se a carga da UMTBE por turno.

Na primeira análise, que será chamada neste trabalho de análise da produção total de GLP (APTG), aumentou-se em dez por cento o valor do exemplo original e verificou-se um pequeno acréscimo na valor da função objetivo. Os relatórios de *status* e de resposta do otimizador para esse caso estão apresentados nos anexos D e E, respectivamente.

Na solução encontrada, houve um acréscimo na produção dos três produtos. Isso deve-se ao fato de suas produções líquidas serem diretamente proporcionais a produção de GLP pelas demais unidades da refinaria. É importante ressaltar que por produção líquida, entende-

se o volume total produzido de dado produto na unidade em questão, subtraído o volume desse produto consumido no processo (na unidade em estudo, butano intermediário como carga da UMTBE).

O volume total enviado de GLP e butano intermediário permanecer inalterado, porém houve um acréscimo na expedição de butano intermediário, compensado por um decréscimo no envio de GLP.

Isso ocorreu, pois como o volume de estoque de butano intermediário está próximo de seu valor máximo, deve ocorrer um acréscimo na expedição igual ao aumento da produção desse produto, para que a restrição de estoque máximo não seja infringida. Em consequência desse acréscimo, houve uma diminuição na expedição de GLP durante o horizonte, a fim de respeitar a restrição de volume máximo de expedição por turno.

Na figura 4.8, 4.9 e 4.10 estão apresentados, respectivamente, os volumes produzidos de PropInt e enviados de GLP e butano intermediário. Em ambas as figuras, constam os valores referentes as soluções do exemplo original, da APTG e da análise da carga da UMTBE (ACU), que será descrita adiante neste item. Esses valores em volume total no período estão na Figura 4.11.

Em semelhança ao exemplo original, na APTG não houve a necessidade de envio noturno, devido aos altos custos associados a essa operação e ocorreu somente uma troca de campanha da torre depropanizadora.

Assim, o pequeno aumento observado no valor da função objetivo deveu-se exclusivamente ao aumento da produção de PropInt no período. Na figura 4.12 estão apresentadas as componentes da função objetivo e seu valor total, referentes as soluções do exemplo original, da APTG e da ACU.

O volume de estoque de PropInt, apresentou uma taxa de crescimento maior do que o do exemplo original, atingindo seu valor máximo também no final do sexto turno, quando ocorre a única troca de campanha da torre depropanizadora. Isso é consequência direta do aumento da produção desse produto. A Figura 4.13 apresenta, a evolução do estoque desse produto, para as soluções do exemplo original, da APTG e da ACU.

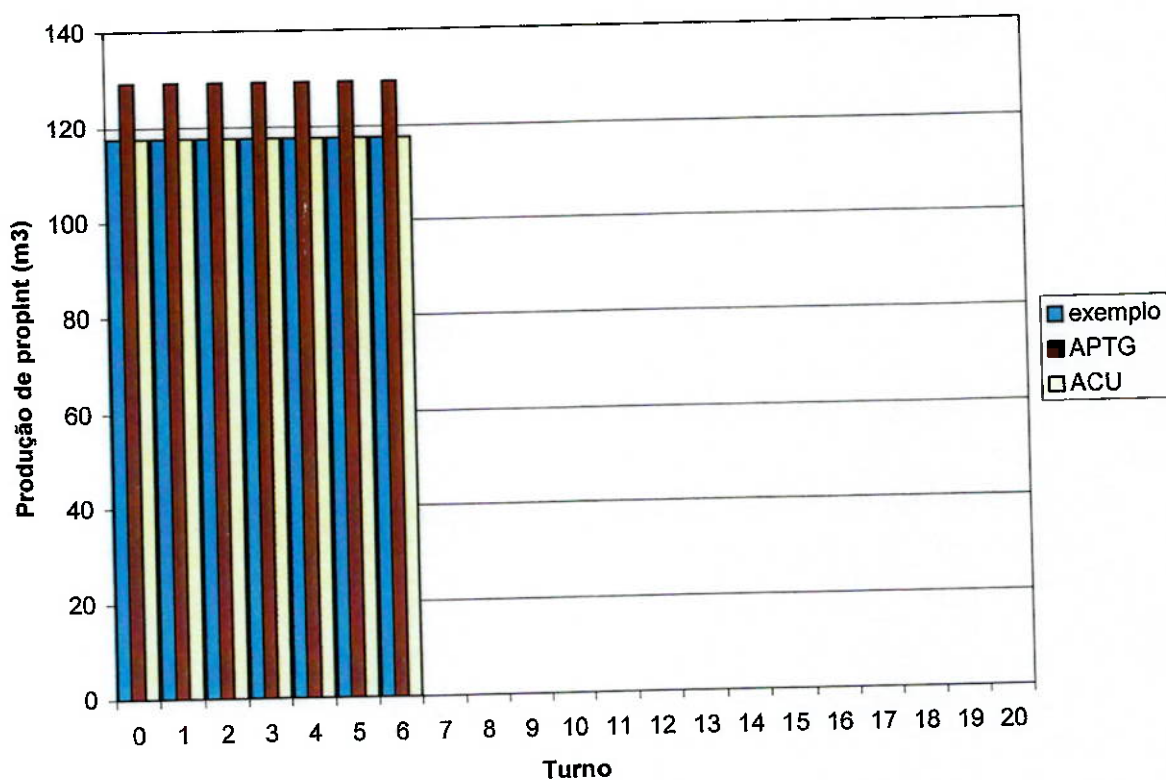


Figura 4.8 Comparação da produção de PropInt

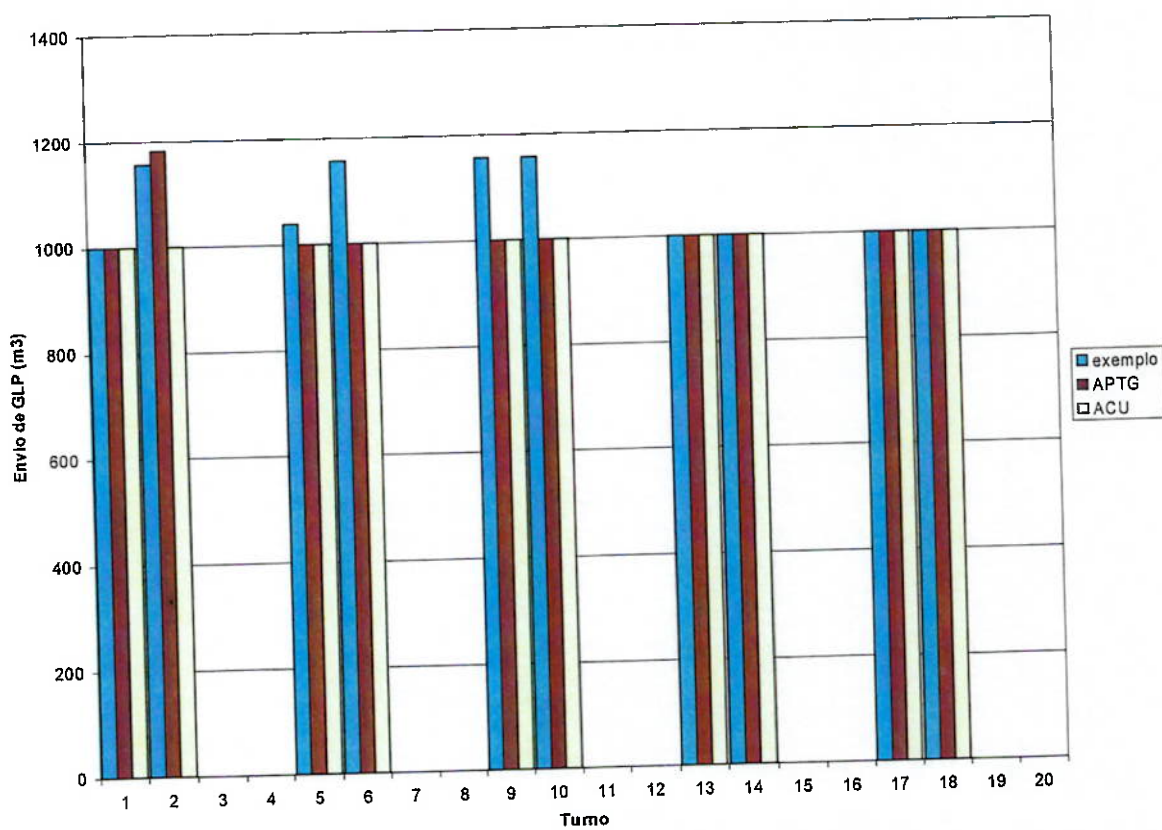


Figura 4.9 Comparação do envio de GLP

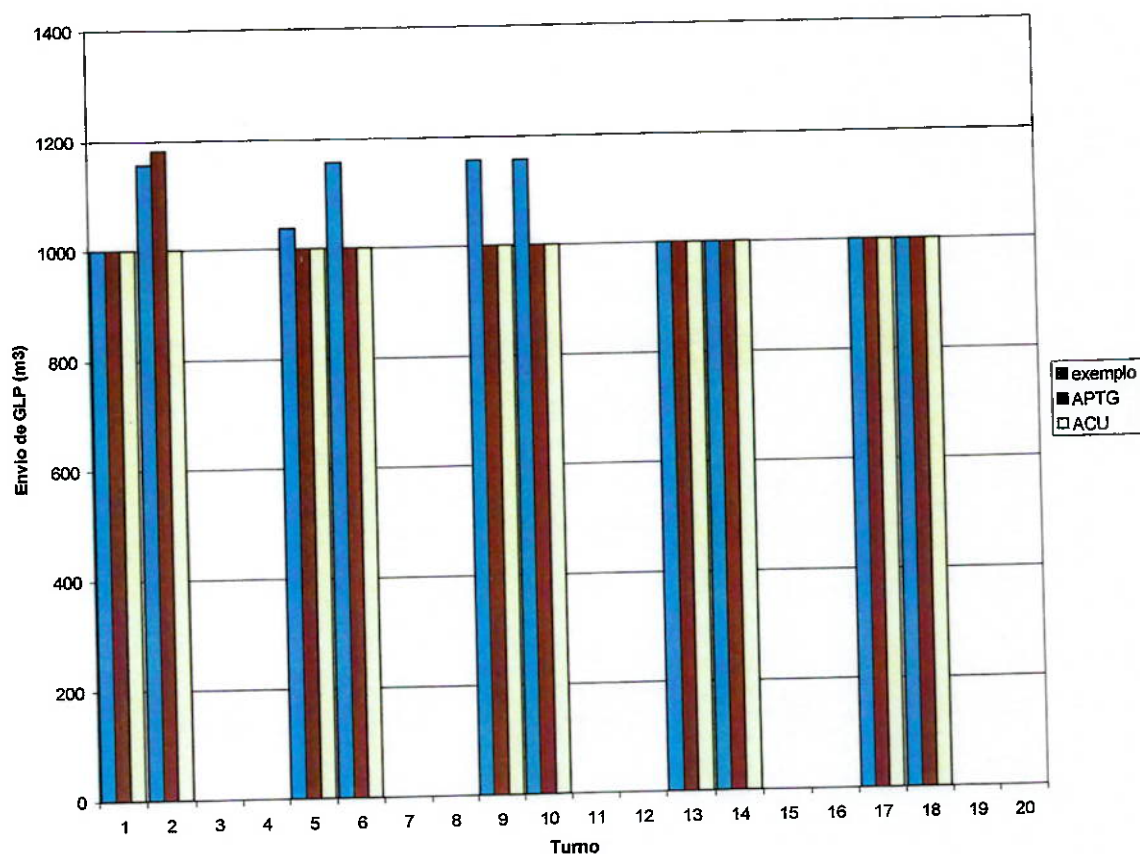


Figura 4.10 Comparação do envio de butano intermediário

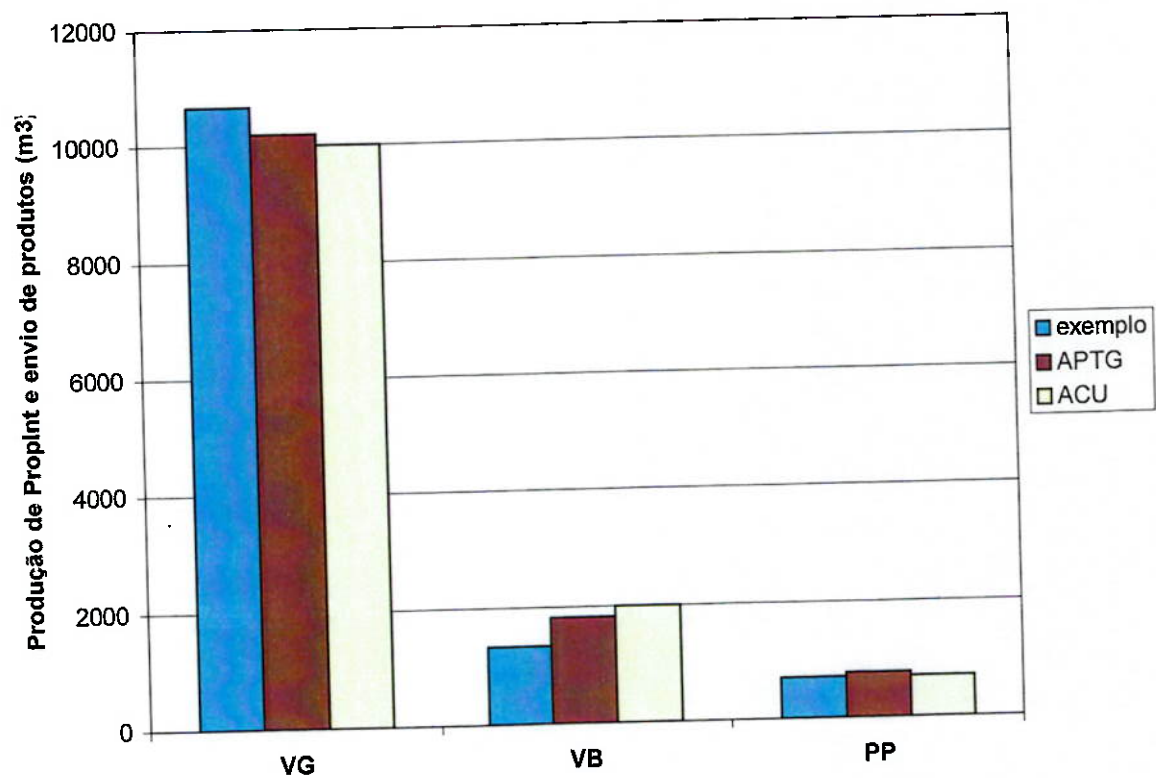


Figura 4.11 Comparação dos volumes totais produzidos e enviados

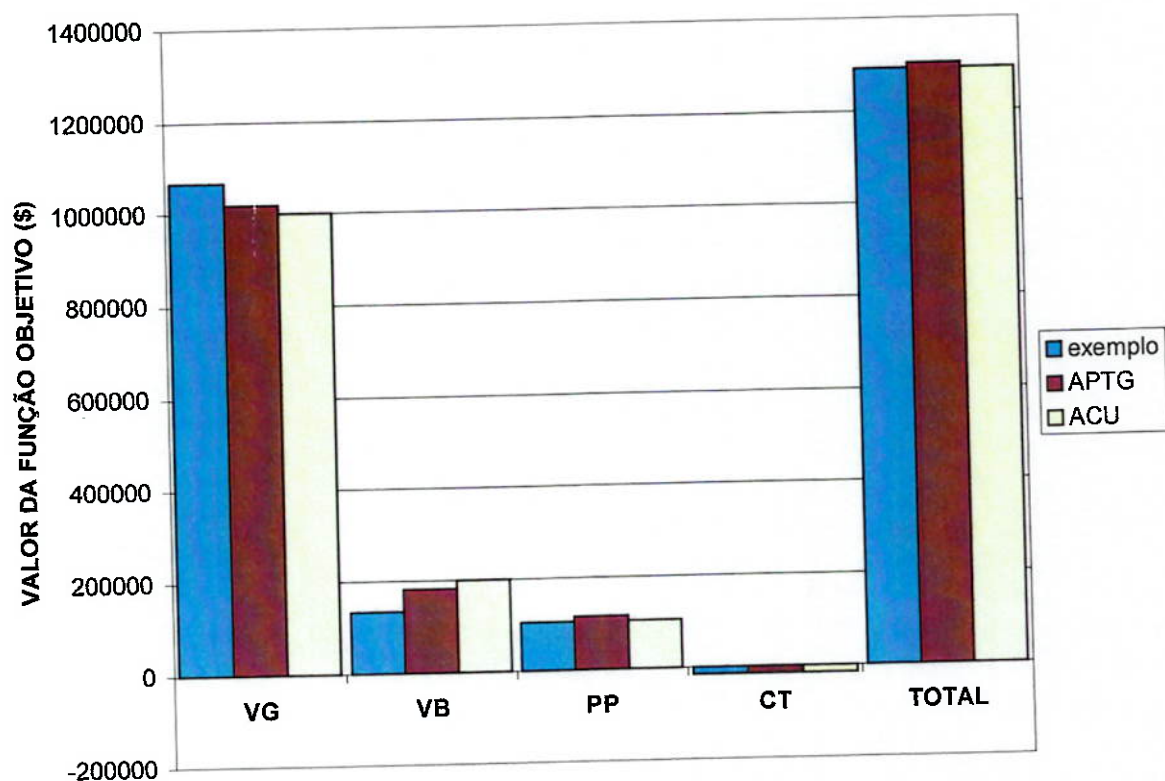


Figura 4.12 Comparação das função objetivo

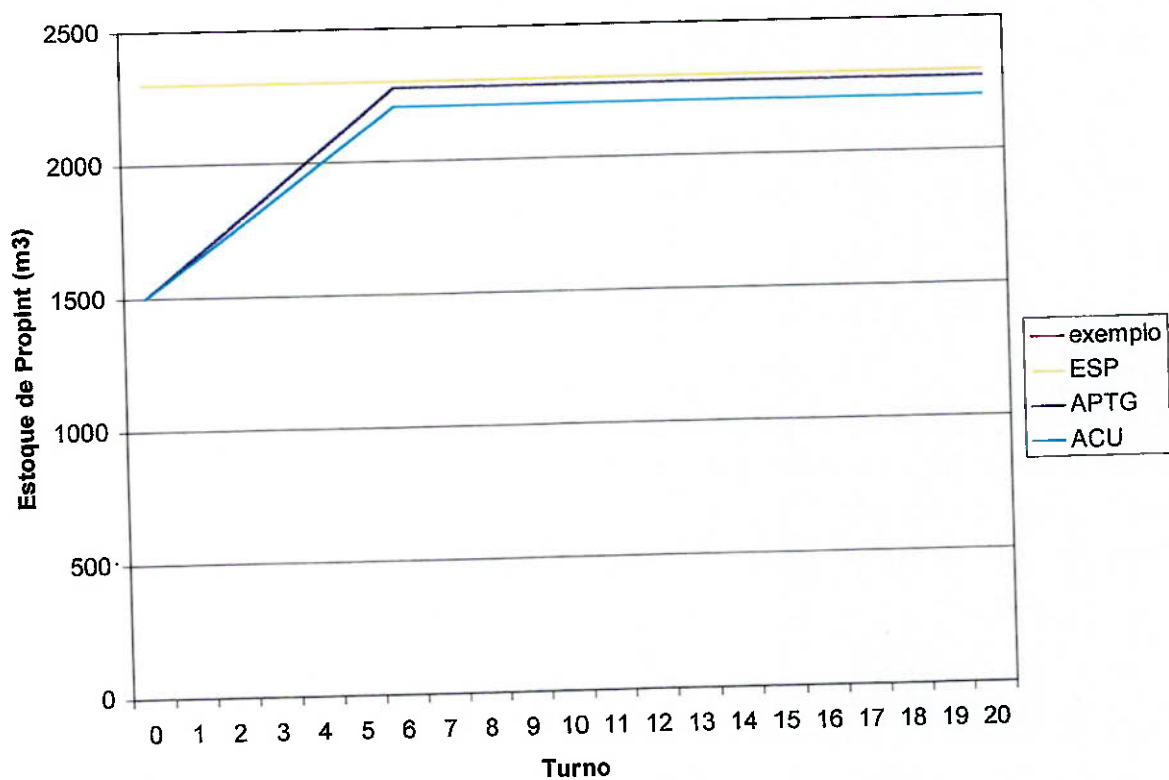


Figura 4.13 Comparação da evolução de estoque de PropInt

O estoque de GLP na APTG continuou apresentando um perfil oscilatório, porém com valores superiores e uma tendência de crescimento. Esse cenário é causado pela maior produção e menor expedição de GLP ao longo dos turnos. Nas Figuras 4.14 e 4.15 estão apresentados, respectivamente, a evolução das quantidades produzidas e do estoque desse produto para os três cenários.

O estoque de butano intermediário não sofre mudanças significativas pelo fato do aumento de sua produção líquida compensar o acréscimo em seu volume expedido. As Figuras 4.16 e 4.17, mostram respectivamente a evolução das produções líquidas e do estoque desse produto.

Na ACU, não se verificou mudança alguma no valor total da função objetivo após o aumento de dez por cento no valor original da carga da UMTBE em cada turno. Os relatórios de *status* e de resposta do *WHAT'S BEST!* estão nos anexos F e G, respectivamente.

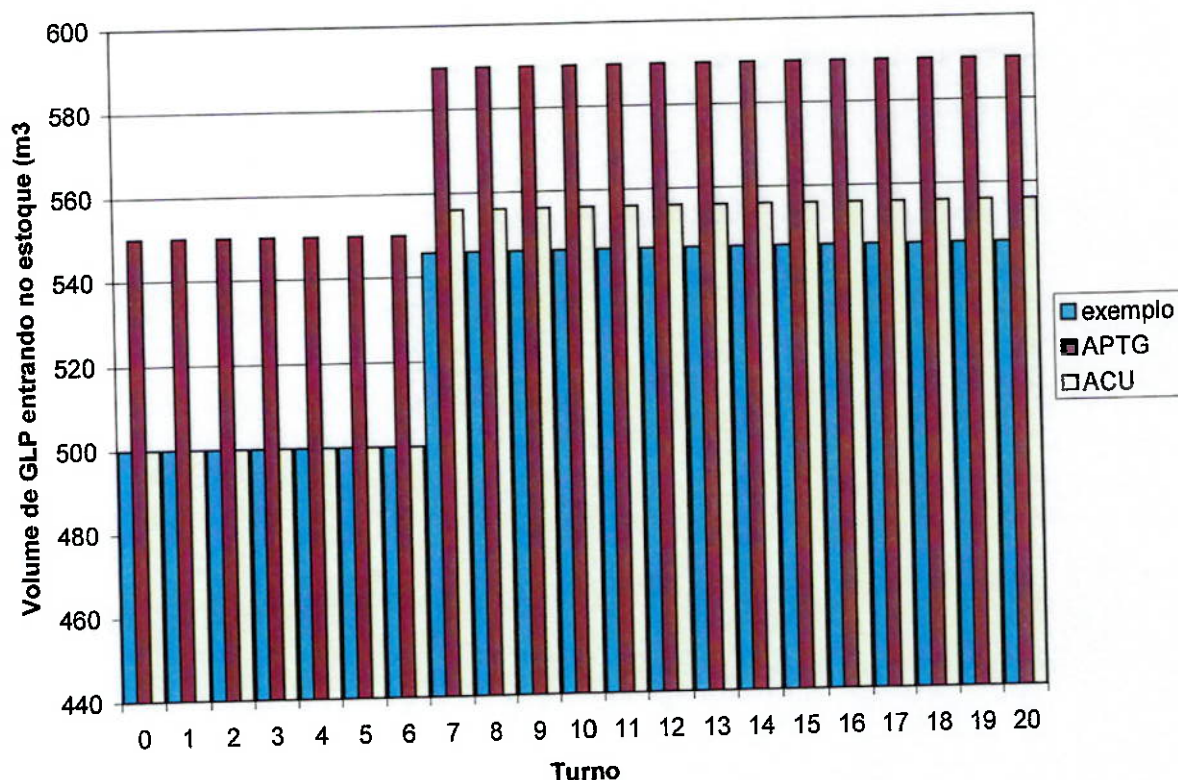


Figura 4.14 Comparação das produções de GLP

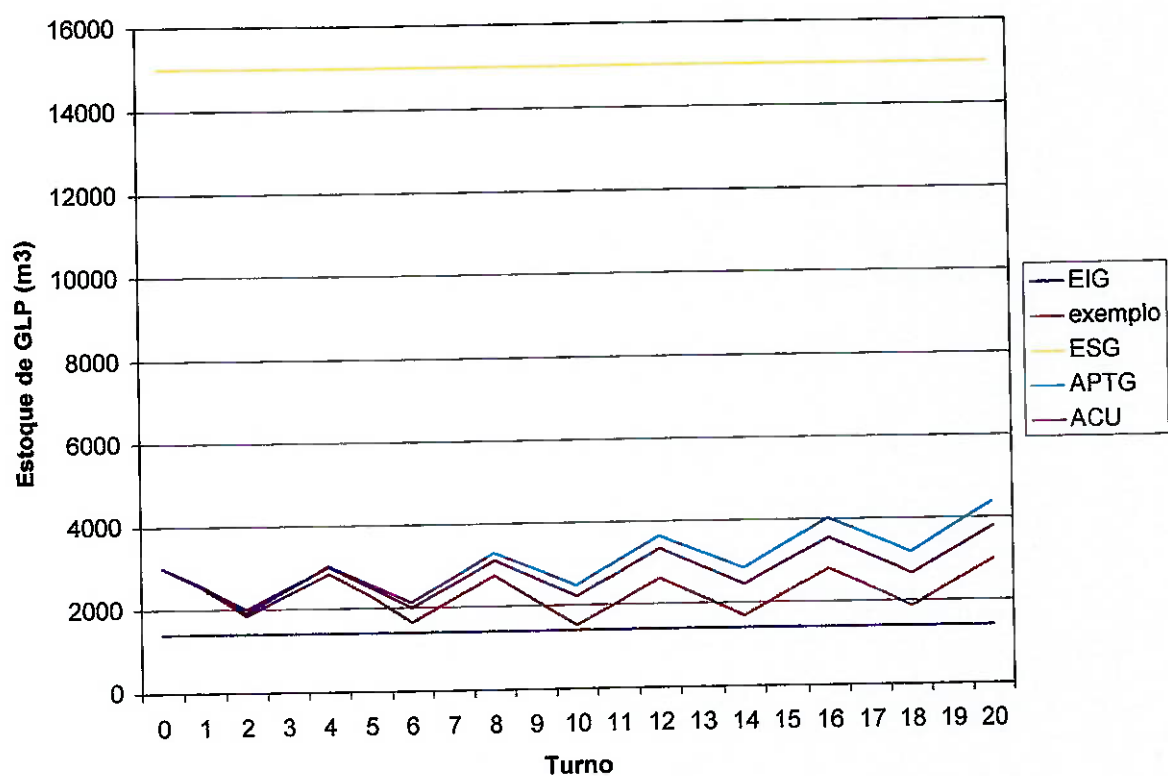


Figura 4.15 Comparação da evolução de estoque de GLP

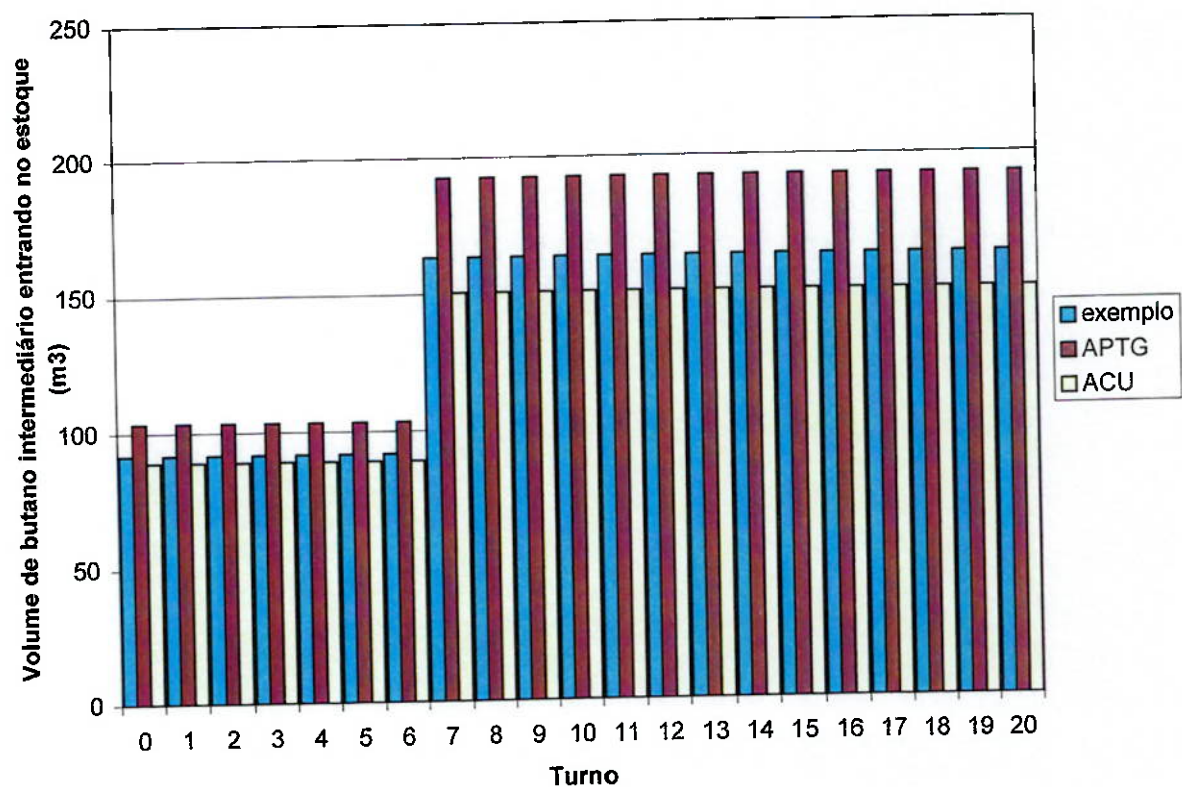


Figura 4.16 Comparação das produções líquidas de butano intermediário

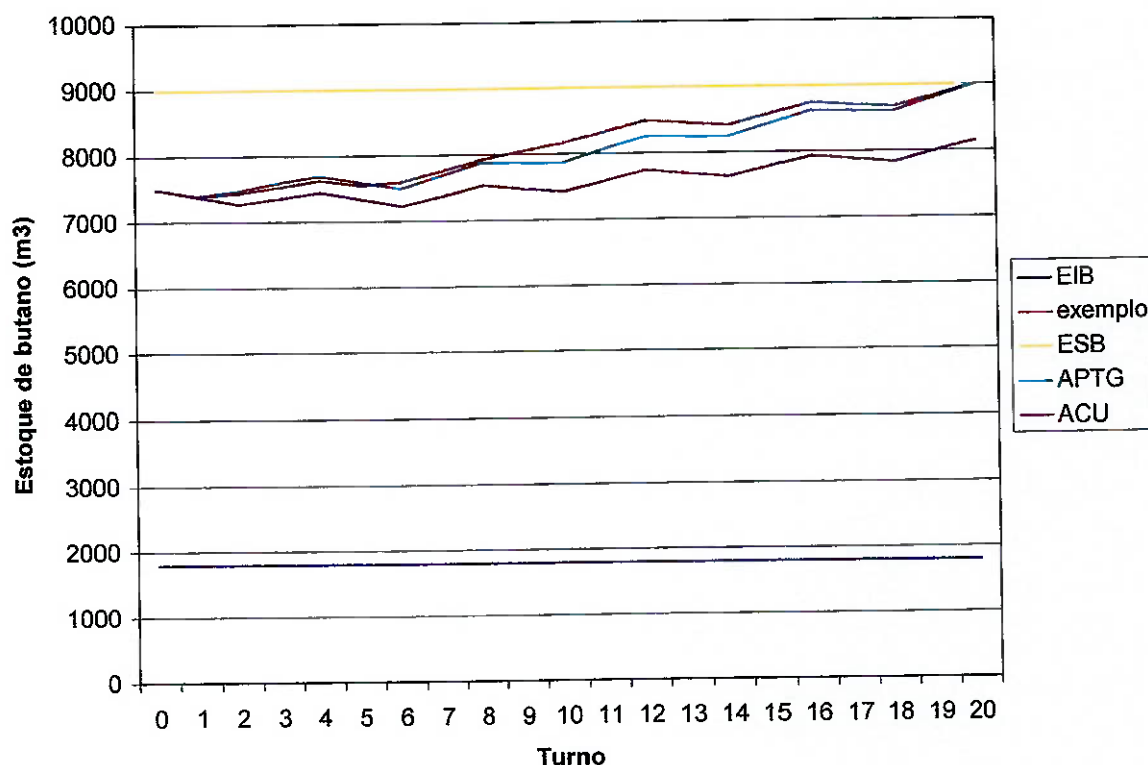


Figura 4.17 Comparação da evolução de estoque de butano intermediário

A variação da carga da UMTBE, não afeta diretamente a produção líquida de PropInt, conforme pode ser observado na Figura 4.8. A produção líquida de GLP é afetada somente quando unidade está operando em campanha de butano intermediário (ver Figura 4.14). Esse cenário é explicado pelo aumento da produção de refinado pela UMTBE (consequência direta do aumento de sua carga), que nessa campanha se junta com o propano produzido pela torre depropanizadora e segue para alguma esfera de GLP.

A produção líquida de butano intermediário teve seu valor reduzido (ver Figura 4.16), uma vez que seu consumo no processo aumenta. Esse *gap* é reduzido em campanha de PropInt, pois nesse tipo de operação, o refinado, que teve sua produção aumentada, retorna para alguma esfera de butano intermediário.

Novamente, ocorreu apenas uma troca de campanha e não houve necessidade de envio noturno. Assim, o volume total enviado continuou sendo a capacidade máxima de expedição nos turnos diurnos, embora tenha havido um aumento no envio de butano intermediário (ver Figura 4.10) e uma redução na expedição de GLP (ver Figura 4.9). Na figura 4.11, estão os valores totais das expedições, bem como o volume total de PropInt produzido.

A função objetivo da solução encontrada na ACU, apresentou valor idêntico ao da solução do exemplo original (ver Figura 4.12), pelo fato das expedições de butano intermediário e GLP terem o mesmo peso na função objetivo no modelo (ambos são comercializados como GLP).

Na ACU, o estoque de PropInt se comportou exatamente igual ao exemplo original. Essa evolução pode ser observado na Figura 4.13, bem como o atendimento da restrição de estoque máximo desse produto.

O estoque de GLP, em semelhança ao exemplo original, apresentou perfil oscilatório, porém com valores superiores e uma tendência de crescimento (ver Figura 4.15). Essa tendência é decorrente do aumento na sua produção e da diminuição de sua expedição.

O estoque de butano intermediário na ACU, apresentou um decréscimo em seu volume ao longo do horizonte, devido ao aumento de sua expedição e a redução em sua produção (ver Figura 4.17).

4.4 Validação do modelo como ferramenta de scheduling da UGLP

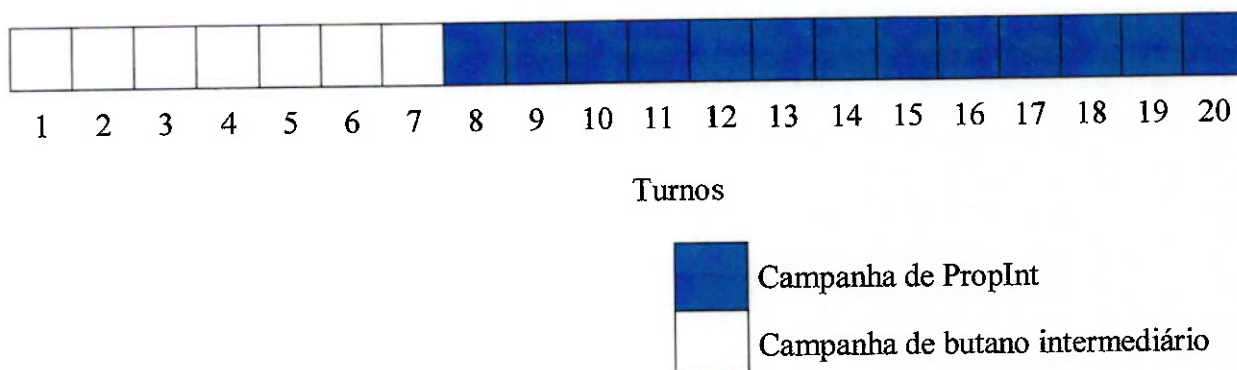
Com o objetivo de validar o modelo proposto como uma ferramenta de apoio a decisão para os programadores de produção de refinarias, o modelo será processado novamente em um outro período, que neste trabalho será denominado novo período. Os parâmetros do problema, que apresentaram alguma modificação, estão apresentados na Tabela 4.3 e os demais continuam com seus valores originais.

O modelo com os parâmetros do novo período foi processado pelo otimizador em duas horas e cinquenta e oito minutos, chegando em um ótimo local. Nos Anexos H e I, estão apresentados, respectivamente, os relatórios de *status* e de resposta do *WHAT'S BEST!*.

Na solução encontrada, a unidade, que no início do período operava em campanha de butano intermediário, realizou a única troca de modo de operação do período no oitavo turno, conforme apresentado na Figura 4.18. Esse cenário resultou em uma produção total de PropInt no período de 1.443,5 m³.

Tabela 4.3 Parâmetros que no novo período apresentavam valores diferentes dos originais

| Parâmetro | Unidade | Valor original | Valor atual |
|------------------------|--------------------|----------------|-------------|
| PGU_t ($t=1...20$) | m^3/turno | 735 | 771,75 |
| BP_t ($t=1...20$) | m^3/turno | 500 | 525 |
| BB_t ($t=1...20$) | m^3/turno | 150 | 157,5 |
| RP | % vol | 50 | 45 |
| RB | % vol | 50 | 65 |
| QU_t ($t=1...20$) | m^3/turno | 129 | 120 |
| EB_0 | m^3 | 7500 | 4000 |
| EP_0 | m^3 | 1500 | 850 |
| EG_0 | m^3 | 3000 | 1500 |
| k_0 | | 1 | 0 |

**Figura 4.18** Campanhas realizadas na unidade durante o novo período

Mais uma vez, não houve a necessidade de envio noturno. Os envios nos períodos diurnos ocorreram em sua capacidade máxima nos quatro últimos dias, sendo que em todos os períodos foram expedidos 200 m³ de butano intermediário e 1.000 m³ de GLP. No primeiro dia os envios apresentaram valores bem abaixo da capacidade máxima a fim de atender a restrição de estoque mínimo de GLP. A Figura 4.19, apresenta os envios ao longo do tempo, enquanto a 4.20, os volumes totais de GLP e butano intermediário expedidos e de PropInt produzido.

Dessa forma a função objetivo da solução encontrada apresentou o valor final de R\$ 1.301.002. Sendo que a componente relativa a produção de PropInt foi responsável pela receita de R\$ 216.523, a de envio de GLP pela de R\$ 915982,5 e a de expedição de butano intermediário pela de R\$ 183196,5. A única troca de campanha ocorrida gerou um custo de R\$ 14.700. Esses valores estão apresentados na Figura 4.21.

O estoque de PropInt permaneceu inalterado até a troca de campanha, a partir da onde cresceu linearmente até atingir seu valor maior valor no final do último turno. Essa evolução está apresentada na Figura 4.22.

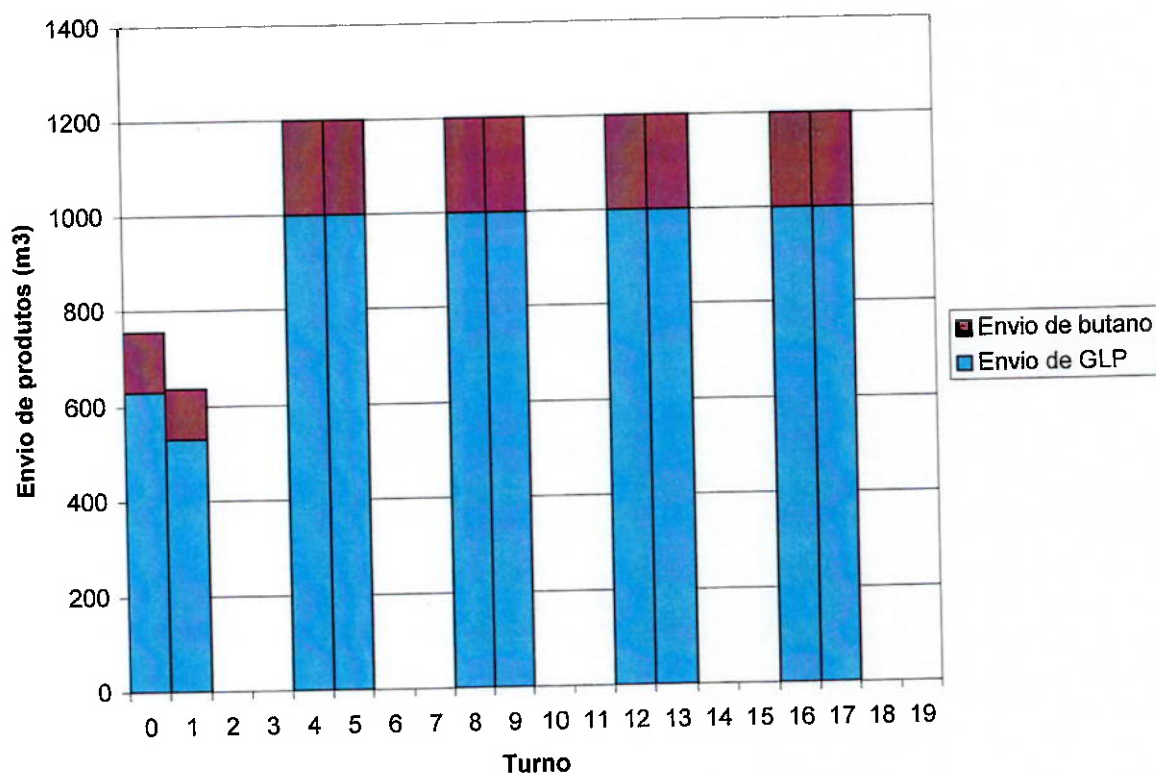


Figura 4.19 Envio de GLP e butano intermediário no novo período

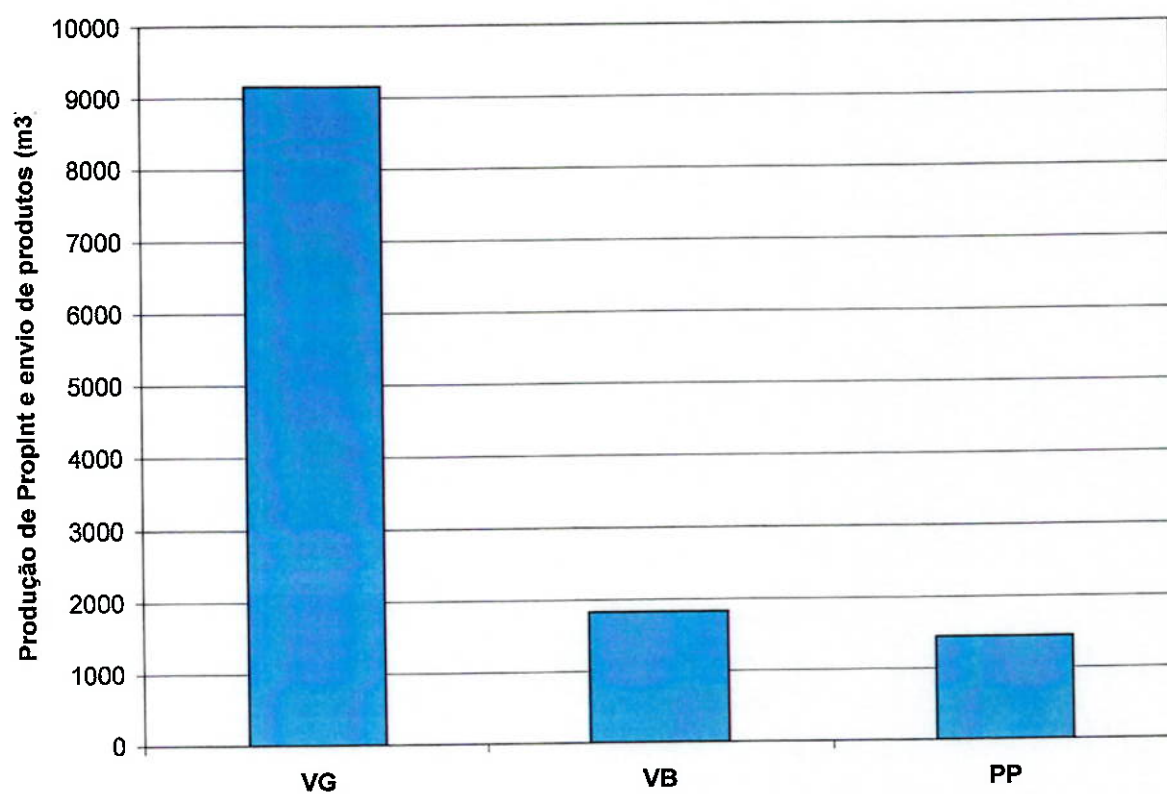


Figura 4.20 Volumes totais produzidos e enviados no novo período

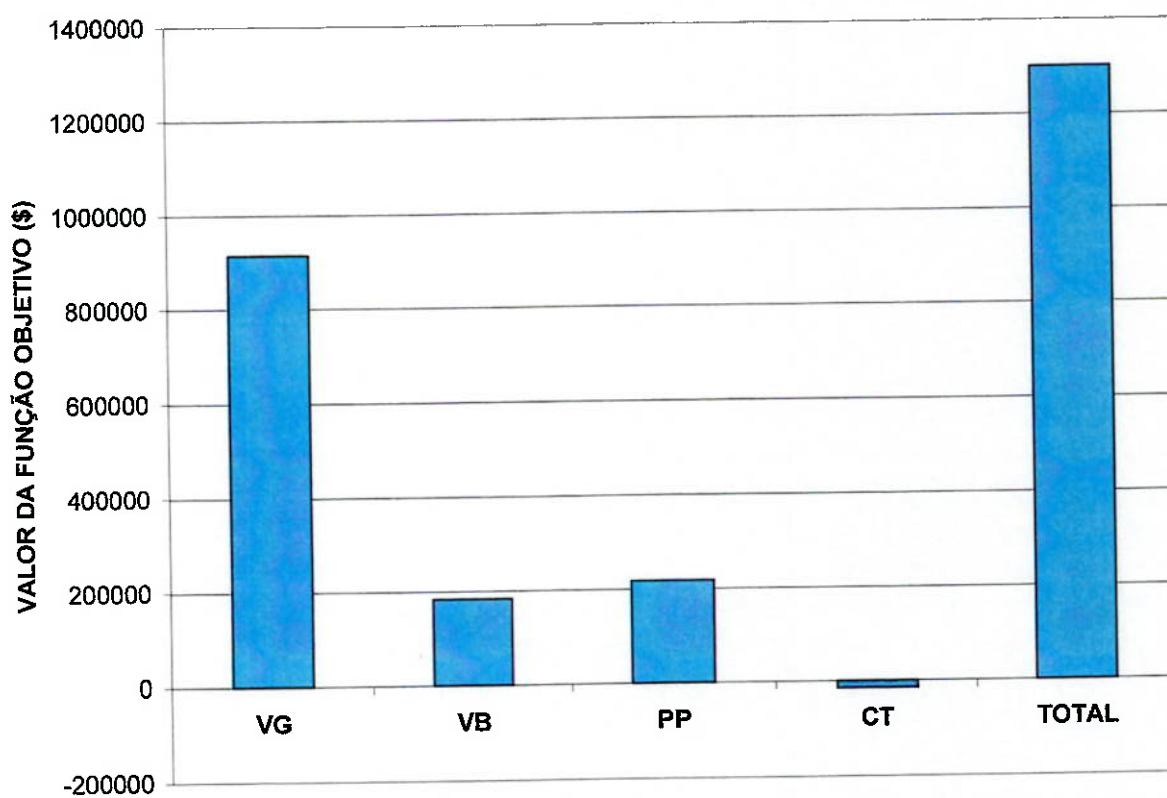


Figura 4.21 Composição da função objetivo no novo período

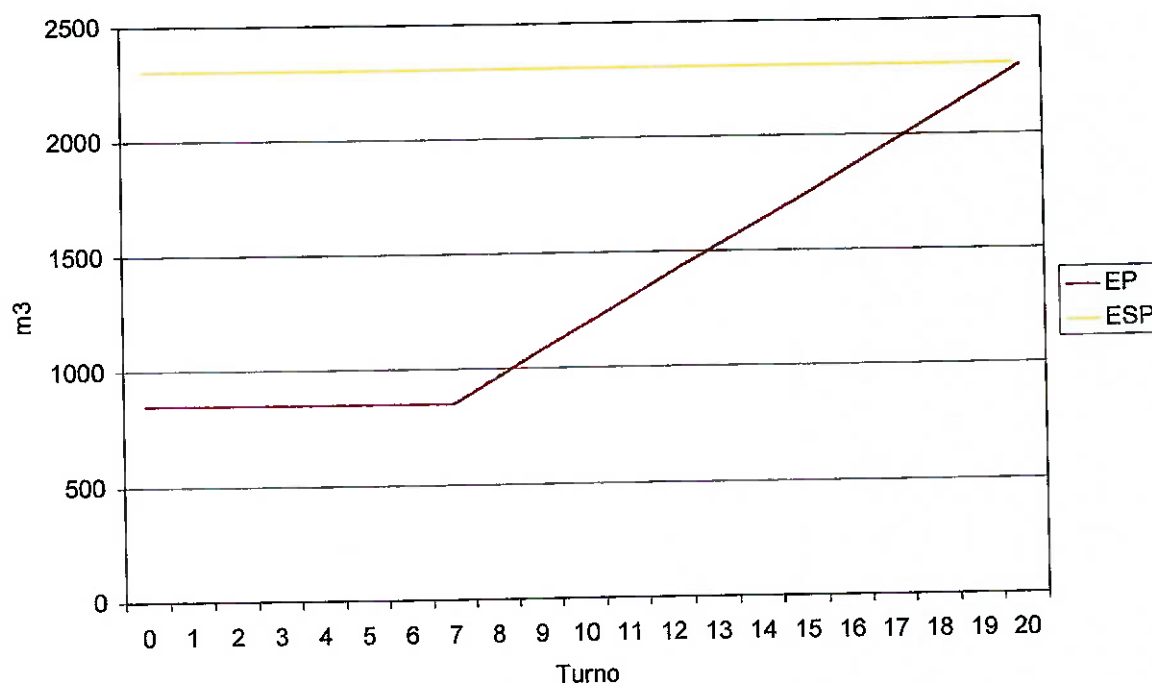


Figura 4.22 Evolução do estoque de PropInt durante o novo período

O estoque de GLP fechou os dois primeiros turnos em seu valor mínimo, após isso manteve um perfil oscilatório, acumulando-se nos períodos noturnos e sendo expedidos nos diurnos. Apresentou uma pequena tendência de crescimento durante o período, fechando o último turno com um acréscimo superior a 1.300 m^3 em relação ao início do novo período. Essa evolução está apresentada na Figura 4.23.

O estoque de butano intermediário, cuja evolução está apresentada na Figura 4.24, iniciou o novo período com um valor de 4.000 m^3 . Até o final do oitavo turno, no qual a unidade passou a operar em campanha de PropInt, apresentou crescimento e após isso oscilou em torno do valor de 5.000 m^3 . Esse comportamento pode ser explicado pelo fato da operação da unidade em campanha de PropInt, dados os parâmetros desse cenário, reduzir em quase cinquenta por cento o volume produzido por turno de butano intermediário, em relação ao outro modo de operação.

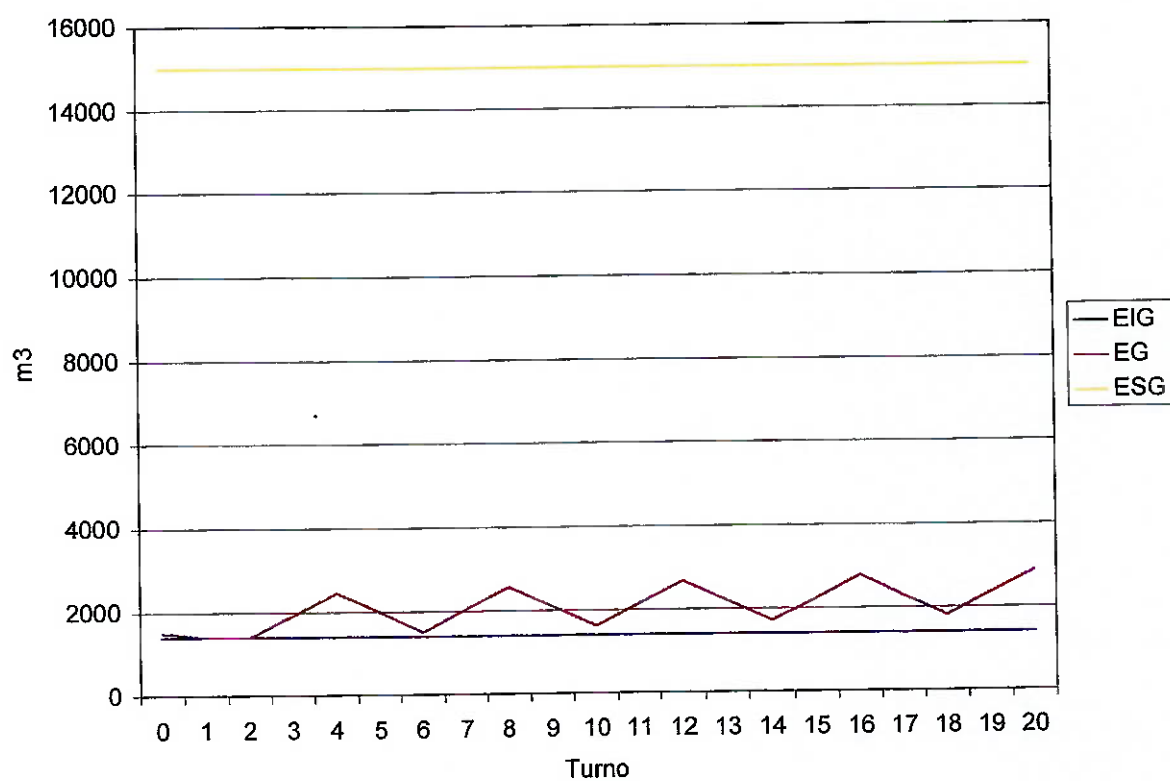


Figura 4.23 Evolução do estoque de GLP durante o novo período

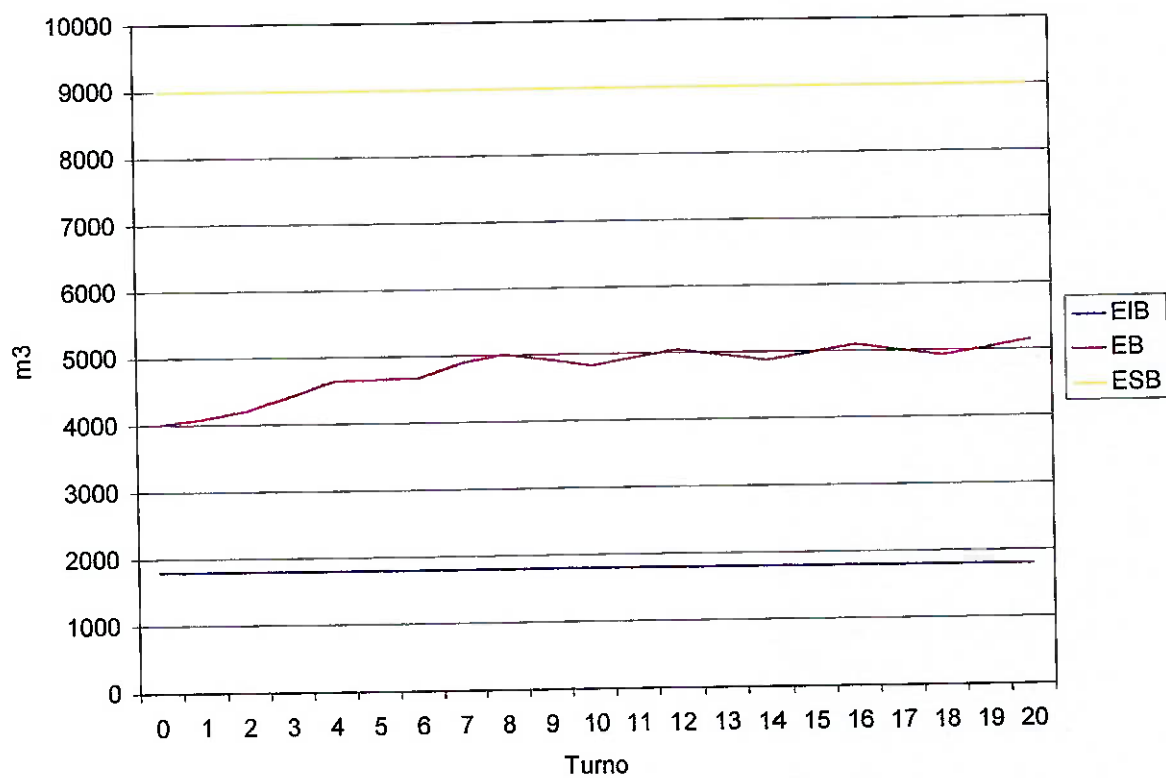


Figura 4.24 Evolução do estoque de butano intermediário durante o novo período

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A atividade de programação da produção é muito importante para o bom desempenho da cadeia logística em que uma refinaria de petróleo está inserida, e a utilização da programação não-linear inteira mista para a otimização da solução da programação de um sistema específico de uma refinaria se mostrou bastante efetivo, confirmando a adequabilidade desta técnica para problemas deste tipo.

O *scheduling* em refinarias é uma atividade do nível operacional do PCP e este trabalho buscou desenvolver uma ferramenta de apoio a decisão, que possa ser utilizada no dia-a-dia pelo programador de produção de refinarias.

Assim, neste trabalho foi desenvolvido um modelo de programação de produção baseado em programação não-linear inteira mista para a planta de GLP da REVAP. No desenvolvimento desse modelo, utilizou-se a metodologia clássica da Pesquisa Operacional.

Primeiramente definiu-se o problema de programação da referida unidade, em seguida coletou-se dados necessários para o desenvolvimento do modelo teórico. Em seguida transformou o modelo matemático em um modelo computacional, através do aplicativo Excel da Microsoft. Então esse modelo foi processado pelo software *WHAT'S BEST!*, que é um suplemento do Excel, produzido pela *LINDO system inc.*.

Na sequência, foi realizado um teste de validação do modelo, a fim de verificar se o modelo se comportava de forma coerente, frente modificação do valor de algum parâmetro. Finalmente, o modelo foi utilizado para realizar a programação de um período diferente do primeiro, a fim de verificar a validade do modelo como ferramenta sistemática do programador de produção da refinaria.

Os resultados do modelo desenvolvido foram bastante satisfatórios tendo em vista os objetivos propostos. A determinação de uma solução ótima, o tamanho do horizonte de programação da produção e a possibilidade de avaliação de soluções alternativas são as principais virtudes deste trabalho.

Através dos testes de validação do modelo verificou-se que ele comporta-se de maneira coerente e é capaz de representar a realidade de forma adequada.

Ao ser processado com dois cenários distintos, o modelo, em ambos, encontrou uma solução ótima e atendeu a todas as restrições impostas. Assim conclui-se que ele é adequado como ferramenta de *scheduling* da unidade de GLP da REVAP.

Ficou demonstrado, portanto, o grande potencial da programação linear-não linear inteira mista para a solução de problemas de programação de produção mais complexos.

O software de otimização *WHAT'S BEST!*, da *LINDO systems inc.* mostrou-se adequado para as atividades do dia-a-dia da programação de produção da área de GLP da REVAP, chegando ao um ótimo local do problema, porém em um tempo de resposta apenas satisfatório. Esse é um ponto de melhoria que demanda desenvolvimento futuro.

Além disso, futuramente, o modelo pode ser adaptado para outras unidades da REVAP, ou mesmo para outras refinarias da PETROBRAS.

O ambiente Excel, que serve de base para o otimizador, é um aspecto bastante positivo para facilitar a integração com bancos de dados, entrada e saída de dados, ajustes para o caso de alterações no esquema de produção da refinaria e adaptações para ser utilizado para o mesmo tipo de sistema em outras refinarias.

A planilha criada, com algumas pequenas melhorias na interface com o usuário e incorporação de facilidades para integração com banco de dados, poderá ser transformada em uma ferramenta de uso freqüente pelo programador de produção.

REFERÊNCIAS

- ABADIE, E. - **Processos de refinação** – Rio de Janeiro – RJ, maio/2003, Programa Trainees Petrobras, 2002
- ALEXANDRE, A. R. O. P. **Modelo de Programação da Produção de Plantas Petroquímicas**. São Paulo, 1997. Monografia (Trabalho de Formatura) Departamento de Engenharia de Produção, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- ALMEIDA, M. R., HAMACHER S., PACHECO M. A. C. - **Algoritmos Genéticos para Programação Automática da Produção em Refinarias de Petróleo** Artigo da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2000.
- BALLINTJIN, k., - **Optimization in refinery scheduling modeling and solution**, in **Optimization in industry**, vol 3 Ciriani T.A. and Leachman, R. C. ed., pp. 191-199, John Wiley & Sons, New York (1993)
- BODINGTON, C. E. & SHOBRY, D. E. - **Planning, Scheduling and Control Integration in the Process Industries** 1ª Edição, McGraw-Hill, New York, NY, EUA, 1995.
- CASTRO, H.P. - **Utilização de Algoritmos Genéticos para Solução de Problema de Programação de Produção de uma Refinaria de Petróleo**, Florianópolis, 2001. Tese de Mestrado (Mestrado em Logística) – Universidade Federal de Santa Catarina.
- CHAMBERS, L. - **Practical Handbook of Genetic Algorithms -Applications Volume I** 1ª Edição, CRC Press, Boca Raton, FL, EUA, 1995.
- CUTTING, G.A.G & HAVERLY, C.A. - **A System for Optimizing the Scheduling and Blending of Crudes** 1995 NPRA Computer Conference Annual Meeting. San Francisco, California, National Petroleum Refiners Association 1995.
- HOFFERL, F. STEINSCHORN D. e ZEDLACHER, M. – **Closing the Gap The OMV scheduling System** 14th World Petroleum Congress (Beijing 10/12-16/97) Proceedings, p.1005-6.
- KATATA, A. C. – **Manual descritivo do projeto de automação do SETRAE da REVAP** – São José dos Campos, 1997

MAGALHÃES, M. V.; MORO L.; SMANIA P. et al.; **SIPP - a solution for refinery scheduling**, 1998 NPRA Computer Conference, *National Petroleum Refiners Association*, November 16-18, San Antonio (TX).

MORO, L.F.L.; Zanin, A.C. and Pinto, J.M., - **A Planning Model for Refinery Diesel Production**. *Computers & Chemical Engineering*, 22 (Suppl.), p. S1039-S1042 (1998).

MORO, L. F. L. **Desenvolvimento de Modelos para Planejamento e Programação de Produção em Refinarias de Petróleo** São Paulo, 2000. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Química) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

NEIRO, S.M.S. – **Planejamento Integrado da Produção _ Distribuição de Cadeias de Suprimento Petrolífera**, São Paulo, 2003. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

PELHAM, R. & PHARRIS, C. - **Refinery Operations and Control – A Future Vision** 1996 NPRA Computer Conference Annual Meeting. San Antonio, Texas, NPRA 1996.

PINEDO, M. **Scheduling – Theory, Algorithms and Systems**. Upper Sadle River, New Jersey, EUA, Prentice Hall, Inc., 2002.

PINTO, J.M. – **Planejamento e Programação de Operações de Produção e Distribuição em Refinarias de Petróleo**, São Paulo, 2000. Tese para obtenção de Título de Livre Docente (Departamento de Engenharia Química) - Universidade de São Paulo.

WINSTON, W. L. **Operations Research – Applications and Algorithms**. Belmont, Califórnia, EUA, Duxbury Press, 1994.

| PG | PB | EP | ESP | EG | ESG | EIB | EB | ESB |
|---------|--------|--------|-----|----------|-----|-------|----------|-----|
| 500 | 91,7 | 1500 | | 3000 | | 15000 | 1800 | |
| 500 | 91,7 | 1617,5 | ≤ | 2500 | ≤ | 15000 | 7391,7 | ≤ |
| 500 | 91,7 | 1735 | ≤ | 1844,237 | ≤ | 15000 | 7439,163 | ≤ |
| 500 | 91,7 | 1852,5 | ≤ | 2344,237 | ≤ | 15000 | 7530,863 | ≤ |
| 500 | 91,7 | 1970 | ≤ | 2844,237 | ≤ | 15000 | 7622,563 | ≤ |
| 500 | 91,7 | 2087,5 | ≤ | 2306,43 | ≤ | 15000 | 7552,07 | ≤ |
| 500 | 91,7 | 2205 | ≤ | 1650,667 | ≤ | 15000 | 7599,533 | ≤ |
| 500 | 91,7 | 2205 | ≤ | 2196,367 | ≤ | 15000 | 7763,033 | ≤ |
| 545,7 | 163,5 | 2205 | ≤ | 2742,067 | ≤ | 15000 | 7926,533 | ≤ |
| 545,7 | 163,5 | 2205 | ≤ | 2132,002 | ≤ | 15000 | 8045,798 | ≤ |
| 545,7 | 163,5 | 2205 | ≤ | 1522 | ≤ | 15000 | 8165 | ≤ |
| 545,7 | 163,5 | 2205 | ≤ | 2067,7 | ≤ | 15000 | 8328,5 | ≤ |
| 545,7 | 163,5 | 2205 | ≤ | 2613,4 | ≤ | 15000 | 8492 | ≤ |
| 545,7 | 163,5 | 2205 | ≤ | 2159,1 | ≤ | 15000 | 8455,5 | ≤ |
| 545,7 | 163,5 | 2205 | ≤ | 1704,8 | ≤ | 15000 | 8419 | ≤ |
| 545,7 | 163,5 | 2205 | ≤ | 2250,5 | ≤ | 15000 | 8582,5 | ≤ |
| 545,7 | 163,5 | 2205 | ≤ | 2796,2 | ≤ | 15000 | 8746 | ≤ |
| 545,7 | 163,5 | 2205 | ≤ | 2341,9 | ≤ | 15000 | 8709,5 | ≤ |
| 545,7 | 163,5 | 2205 | ≤ | 1887,6 | ≤ | 15000 | 8673 | ≤ |
| 545,7 | 163,5 | 2205 | ≤ | 2433,3 | ≤ | 15000 | 8836,5 | ≤ |
| 545,7 | 163,5 | 2205 | ≤ | 2979 | ≤ | 15000 | 9000 | ≤ |
| 10639,8 | 2839,2 | 2205 | ≤ | | ≤ | | | ≤ |

Anexo B – Relatório de saída do WHAT'S BEST! – exemplo de aplicação

What'sBest! 7.0 Status Report

10/29/04 8:40 PM

Solver memory allocated: 16384

Unimplemented function warning has been turned off

Missing objective cell warning has been turned off

Model before Linearization:

| CLASSIFICATION STATISTICS | Original |
|---------------------------|----------|
| Numeric | 990 |
| Adjustable | 70 |
| Constraints | 152 |
| Integers | 30 |
| Optimizable | 439 |

Linearization Enabled:

Big M parameter: 60000.

Delta parameter: 0.00000E+00

Model Type: NONLINEAR / INTEGER

NONLINEARITY PRESENT WARNING

The cells below contain nonlinear expressions. If these cells are used only for reporting, then, for efficiency, they should be included in a WBOMIT range (refer to documentation). Nonlinear cells may be linearized automatically by the Linearization option that is set in the General Options dialog box. This warning can be turned off with the Nonlinearity Present checkbox in the General Options dialog box.

5DIAS!C6
5DIAS!C10
5DIAS!C14
5DIAS!C18
5DIAS!C22

The smallest and largest coefficients in the model were:

0.20000000

150000.00

The smallest coefficient occurred in constraint cell: 5DIAS!E6
on optimizable cell: 5DIAS!D6

The largest coefficient occurred in constraint cell: 5DIAS!I27
on optimizable cell: 5DIAS!I26

| CLASSIFICATION STATISTICS | Current / | Maximum |
|---------------------------|-----------|---------|
| Numeric | 990 / | 10000 |
| Adjustable | 70 / | 300 |
| Constraints | 152 / | 150 |
| Integers | 30 / | 30 |
| Optimizable | 439 | |
| Nonlinear | 20 / | 30 |
| Coefficients | 990 | |

Best integer value: 1291050 @ 31363 tries. Theoretical limit: 1291050

Solution Status: LOCALLY OPTIMAL.

Optimality Cond: SATISFIED.

Solution Time: 2 Hours 8 Minutes 57 Seconds

End of report.

Anexo C – Relatório de resposta do WHAT'S BEST! – exemplo de aplicação

What'sBest! Solution Report

10/29/04 8:40 PM

OBJECTIVE CELL:

| CELL ADDRESS | VALUE | INITIAL VALUE | TYPE |
|-----------------|---------|------------------|------|
| 5DIAS!C29 | 1291050 | 1217550 | MAX |

ADJUSTABLE CELLS:

| CELL ADDRESS | VALUE | INITIAL VALUE | TYPE | DUAL VALUE |
|-----------------|----------|------------------|------|---------------|
| 5DIAS!B6 | 1 | 0 | Bin | 17625,02 |
| 5DIAS!D6 | 1000 | 1000 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G6 | 200 | 200 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!B7 | 1 | 0 | Bin | 17625,02 |
| 5DIAS!D7 | 1155,763 | 1000 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G7 | 44,23746 | 200 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!B8 | 1 | 0 | Bin | 17625,02 |
| 5DIAS!D8 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G8 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!I8 | 0 | 0 | Bin | 9850000 |
| 5DIAS!B9 | 1 | 0 | Bin | 17625,02 |
| 5DIAS!D9 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G9 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!I9 | 0 | 0 | Bin | 9850000 |
| 5DIAS!B10 | 1 | 0 | Bin | 17624,98 |
| 5DIAS!D10 | 1037,808 | 1000 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G10 | 162,1923 | 200 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!B11 | 1 | 0 | Bin | -11774,9 |
| 5DIAS!D11 | 1155,763 | 1000 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G11 | 44,23746 | 200 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!B12 | 0 | 0 | Bin | 47024,94 |
| 5DIAS!D12 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G12 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!I12 | 0 | 0 | Bin | 9850000 |
| 5DIAS!B13 | 0 | 0 | Bin | 17625 |
| 5DIAS!D13 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G13 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!I13 | 0 | 0 | Bin | 9850000 |
| 5DIAS!B14 | 0 | 0 | Bin | 17625 |
| 5DIAS!D14 | 1155,766 | 1200 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G14 | 44,23436 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!B15 | 0 | 1 | Bin | 17625 |
| 5DIAS!D15 | 1155,702 | 1200 | >=0 | 0 |

| | | | |
|------------|----------|----|-----------------|
| 5DIAS!AC6 | 1608,3 | <= | 0 AB6 <= AD6 |
| 5DIAS!F7 | 186,9151 | >= | 0 E7 >= G7 |
| 5DIAS!M7 | 0 | <= | 100 H7 <= N7 |
| 5DIAS!S7 | 565 | <= | 0 R7 <= T7 |
| 5DIAS!V7 | 444,2375 | <= | 0 U7 <= W7 |
| 5DIAS!X7 | 13155,76 | <= | 0 W7 <= Y7 |
| 5DIAS!AA7 | 5639,163 | <= | 0 Z7 <= AB7 |
| 5DIAS!AC7 | 1560,837 | <= | 0 AB7 <= AD7 |
| 5DIAS!F8 | 0 | >= | 0 E8 >= G8 |
| 5DIAS!K8 | 0 | >= | -100 J8 >= L8 |
| 5DIAS!M8 | 1200 | <= | 100 H8 <= N8 |
| 5DIAS!S8 | 447,5 | <= | 0 R8 <= T8 |
| 5DIAS!V8 | 944,2375 | <= | 0 U8 <= W8 |
| 5DIAS!X8 | 12655,76 | <= | 0 W8 <= Y8 |
| 5DIAS!AA8 | 5730,862 | <= | 0 Z8 <= AB8 |
| 5DIAS!AC8 | 1469,137 | <= | 0 AB8 <= AD8 |
| 5DIAS!F9 | 0 | >= | 0 E9 >= G9 |
| 5DIAS!K9 | 0 | >= | -100 J9 >= L9 |
| 5DIAS!M9 | 1200 | <= | 100 H9 <= N9 |
| 5DIAS!S9 | 330 | <= | 0 R9 <= T9 |
| 5DIAS!V9 | 1444,237 | <= | 0 U9 <= W9 |
| 5DIAS!X9 | 12155,76 | <= | 0 W9 <= Y9 |
| 5DIAS!AA9 | 5822,563 | <= | 0 Z9 <= AB9 |
| 5DIAS!AC9 | 1377,438 | <= | 0 AB9 <= AD9 |
| 5DIAS!F10 | 45,36927 | >= | 0 E10 >= G10 |
| 5DIAS!M10 | 0 | <= | 100 H10 <= N10 |
| 5DIAS!S10 | 212,5 | <= | 0 R10 <= T10 |
| 5DIAS!V10 | 906,4297 | <= | 0 U10 <= W10 |
| 5DIAS!X10 | 12693,57 | <= | 0 W10 <= Y10 |
| 5DIAS!AA10 | 5752,07 | <= | 0 Z10 <= AB10 |
| 5DIAS!AC10 | 1447,93 | <= | 0 AB10 <= AD10 |
| 5DIAS!F11 | 186,9151 | >= | 0 E11 >= G11 |
| 5DIAS!M11 | 0 | <= | 100 H11 <= N11 |
| 5DIAS!S11 | 95 | <= | 0 R11 <= T11 |
| 5DIAS!V11 | 250,6672 | <= | 0 U11 <= W11 |
| 5DIAS!X11 | 13349,33 | <= | 0 W11 <= Y11 |
| 5DIAS!AA11 | 5799,533 | <= | 0 Z11 <= AB11 |
| 5DIAS!AC11 | 1400,467 | <= | 0 AB11 <= AD11 |
| 5DIAS!F12 | 0 | >= | 0 E12 >= G12 |
| 5DIAS!K12 | 0 | >= | -100 J12 >= L12 |
| 5DIAS!M12 | 1200 | <= | 100 H12 <= N12 |
| 5DIAS!S12 | 95 | <= | 0 R12 <= T12 |
| 5DIAS!V12 | 796,3672 | <= | 0 U12 <= W12 |
| 5DIAS!X12 | 12803,63 | <= | 0 W12 <= Y12 |
| 5DIAS!AA12 | 5963,033 | <= | 0 Z12 <= AB12 |
| 5DIAS!AC12 | 1236,967 | <= | 0 AB12 <= AD12 |
| 5DIAS!F13 | 0 | >= | 0 E13 >= G13 |
| 5DIAS!K13 | 0 | >= | -100 J13 >= L13 |
| 5DIAS!M13 | 1200 | <= | 100 H13 <= N13 |
| 5DIAS!S13 | 95 | <= | 0 R13 <= T13 |
| 5DIAS!V13 | 1342,067 | <= | 0 U13 <= W13 |
| 5DIAS!X13 | 12257,93 | <= | 0 W13 <= Y13 |

| | | | | |
|------------|----------|----|------|--------------|
| 5DIAS!AA13 | 6126,533 | <= | 0 | Z13 <= AB13 |
| 5DIAS!AC13 | 1073,467 | <= | 0 | AB13 <= AD13 |
| 5DIAS!F14 | 186,9188 | >= | 0 | E14 >= G14 |
| 5DIAS!M14 | 0 | <= | 100 | H14 <= N14 |
| 5DIAS!S14 | 95 | <= | 0 | R14 <= T14 |
| 5DIAS!V14 | 732,0015 | <= | 0 | U14 <= W14 |
| 5DIAS!X14 | 12867 | <= | 0 | W14 <= Y14 |
| 5DIAS!AA14 | 6245,798 | <= | 0 | Z14 <= AB14 |
| 5DIAS!AC14 | 954,2015 | <= | 0 | AB14 <= AD14 |
| 5DIAS!F15 | 186,8419 | >= | 0 | E15 >= G15 |
| 5DIAS!M15 | 0 | <= | 100 | H15 <= N15 |
| 5DIAS!S15 | 95 | <= | 0 | R15 <= T15 |
| 5DIAS!V15 | 122 | <= | 0 | U15 <= W15 |
| 5DIAS!X15 | 13478 | <= | 0 | W15 <= Y15 |
| 5DIAS!AA15 | 6365 | <= | 0 | Z15 <= AB15 |
| 5DIAS!AC15 | 835 | <= | 0 | AB15 <= AD15 |
| 5DIAS!F16 | 0 | >= | 0 | E16 >= G16 |
| 5DIAS!K16 | 0 | >= | -100 | J16 >= L16 |
| 5DIAS!M16 | 1200 | <= | 100 | H16 <= N16 |
| 5DIAS!S16 | 95 | <= | 0 | R16 <= T16 |
| 5DIAS!V16 | 667,7 | <= | 0 | U16 <= W16 |
| 5DIAS!X16 | 12932,3 | <= | 0 | W16 <= Y16 |
| 5DIAS!AA16 | 6528,5 | <= | 0 | Z16 <= AB16 |
| 5DIAS!AC16 | 671,5 | <= | 0 | AB16 <= AD16 |
| 5DIAS!F17 | 0 | >= | 0 | E17 >= G17 |
| 5DIAS!K17 | 0 | >= | -100 | J17 >= L17 |
| 5DIAS!M17 | 1200 | <= | 100 | H17 <= N17 |
| 5DIAS!S17 | 95 | <= | 0 | R17 <= T17 |
| 5DIAS!V17 | 1213,4 | <= | 0 | U17 <= W17 |
| 5DIAS!X17 | 12386,6 | <= | 0 | W17 <= Y17 |
| 5DIAS!AA17 | 6692 | <= | 0 | Z17 <= AB17 |
| 5DIAS!AC17 | 508 | <= | 0 | AB17 <= AD17 |
| 5DIAS!F18 | 0 | >= | 0 | E18 >= G18 |
| 5DIAS!M18 | 0 | <= | 100 | H18 <= N18 |
| 5DIAS!S18 | 95 | <= | 0 | R18 <= T18 |
| 5DIAS!V18 | 759,1 | <= | 0 | U18 <= W18 |
| 5DIAS!X18 | 12840,9 | <= | 0 | W18 <= Y18 |
| 5DIAS!AA18 | 6655,5 | <= | 0 | Z18 <= AB18 |
| 5DIAS!AC18 | 544,5 | <= | 0 | AB18 <= AD18 |
| 5DIAS!F19 | 0 | >= | 0 | E19 >= G19 |
| 5DIAS!M19 | 0 | <= | 100 | H19 <= N19 |
| 5DIAS!S19 | 95 | <= | 0 | R19 <= T19 |
| 5DIAS!V19 | 304,8 | <= | 0 | U19 <= W19 |
| 5DIAS!X19 | 13295,2 | <= | 0 | W19 <= Y19 |
| 5DIAS!AA19 | 6619 | <= | 0 | Z19 <= AB19 |
| 5DIAS!AC19 | 581 | <= | 0 | AB19 <= AD19 |
| 5DIAS!F20 | 0 | >= | 0 | E20 >= G20 |

| | | | |
|------------|----------|----|-----------------|
| 5DIAS!K20 | 0 | >= | -100 J20 >= L20 |
| 5DIAS!M20 | 1200 | <= | 100 H20 <= N20 |
| 5DIAS!S20 | 95 | <= | 0 R20 <= T20 |
| 5DIAS!V20 | 850,5 | <= | 0 U20 <= W20 |
| 5DIAS!X20 | 12749,5 | <= | 0 W20 <= Y20 |
| 5DIAS!AA20 | 6782,5 | <= | 0 Z20 <= AB20 |
| 5DIAS!AC20 | 417,5 | <= | 0 AB20 <= AD20 |
| 5DIAS!F21 | 0 | >= | 0 E21 >= G21 |
| 5DIAS!K21 | 0 | >= | -100 J21 >= L21 |
| 5DIAS!M21 | 1200 | <= | 100 H21 <= N21 |
| 5DIAS!S21 | 95 | <= | 0 R21 <= T21 |
| 5DIAS!V21 | 1396,2 | <= | 0 U21 <= W21 |
| 5DIAS!X21 | 12203,8 | <= | 0 W21 <= Y21 |
| 5DIAS!AA21 | 6946 | <= | 0 Z21 <= AB21 |
| 5DIAS!AC21 | 254 | <= | 0 AB21 <= AD21 |
| 5DIAS!F22 | 0 | >= | 0 E22 >= G22 |
| 5DIAS!M22 | 0 | <= | 100 H22 <= N22 |
| 5DIAS!S22 | 95 | <= | 0 R22 <= T22 |
| 5DIAS!V22 | 941,9 | <= | 0 U22 <= W22 |
| 5DIAS!X22 | 12658,1 | <= | 0 W22 <= Y22 |
| 5DIAS!AA22 | 6909,5 | <= | 0 Z22 <= AB22 |
| 5DIAS!AC22 | 290,5 | <= | 0 AB22 <= AD22 |
| 5DIAS!F23 | 0 | >= | 0 E23 >= G23 |
| 5DIAS!M23 | 0 | <= | 100 H23 <= N23 |
| 5DIAS!S23 | 95 | <= | 0 R23 <= T23 |
| 5DIAS!V23 | 487,6 | <= | 0 U23 <= W23 |
| 5DIAS!X23 | 13112,4 | <= | 0 W23 <= Y23 |
| 5DIAS!AA23 | 6873 | <= | 0 Z23 <= AB23 |
| 5DIAS!AC23 | 327 | <= | 0 AB23 <= AD23 |
| 5DIAS!F24 | 4,24E-22 | >= | 0 E24 >= G24 |
| 5DIAS!K24 | 0 | >= | -100 J24 >= L24 |
| 5DIAS!M24 | 1200 | <= | 100 H24 <= N24 |
| 5DIAS!S24 | 95 | <= | 0 R24 <= T24 |
| 5DIAS!V24 | 1033,3 | <= | 0 U24 <= W24 |
| 5DIAS!X24 | 12566,7 | <= | 0 W24 <= Y24 |
| 5DIAS!AA24 | 7036,5 | <= | 0 Z24 <= AB24 |
| 5DIAS!AC24 | 163,5 | <= | 0 AB24 <= AD24 |
| 5DIAS!F25 | 0 | >= | 0 E25 >= G25 |
| 5DIAS!K25 | 0 | >= | -100 J25 >= L25 |
| 5DIAS!M25 | 1200 | <= | 100 H25 <= N25 |
| 5DIAS!S25 | 95 | <= | 0 R25 <= T25 |
| 5DIAS!V25 | 1579 | <= | 0 U25 <= W25 |
| 5DIAS!X25 | 12021 | <= | 0 W25 <= Y25 |
| 5DIAS!AA25 | 7200 | <= | 0 Z25 <= AB25 |
| 5DIAS!AC25 | 0 | <= | 0 AB25 <= AD25 |
| 5DIAS!D32 | 3500 | <= | 0 C32 <= E32 |
| 5DIAS!F32 | 2200 | <= | 0 E32 <= G32 |

Anexo D – Relatório de saída – APTG

What'sBest! 7.0 Status

Report

11/1/04 11:35 AM

Solver memory allocated: 16384

Unimplemented function warning has been turned off

Missing objective cell warning has been turned off

Model before Linearization:

| CLASSIFICATION STATISTICS | Original |
|---------------------------|----------|
| ----- | |
| Numeric | 989 |
| Adjustable | 70 |
| Constraints | 152 |
| Integers | 30 |
| Optimizable | 438 |

Linearization Enabled:

Big M parameter: 60000.

Delta parameter: 0.00000E+00

Model Type: NONLINEAR / INTEGER

NONLINEARITY PRESENT WARNING

The cells below contain nonlinear expressions. If these cells are used only for reporting, then, for efficiency, they should be included in a WBOMIT range (refer to documentation). Nonlinear cells may be linearized automatically by the Linearization option that is set in the General Options dialog box. This warning can be turned off with the Nonlinearity Present checkbox in the General Options dialog box.

| | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 5DIAS!C6 | 5DIAS!C7 | 5DIAS!C8 | 5DIAS!C9 |
| 5DIAS!C10 | 5DIAS!C11 | 5DIAS!C12 | 5DIAS!C13 |
| 5DIAS!C14 | 5DIAS!C15 | 5DIAS!C16 | 5DIAS!C17 |
| 5DIAS!C18 | 5DIAS!C19 | 5DIAS!C20 | 5DIAS!C21 |
| 5DIAS!C22 | 5DIAS!C23 | 5DIAS!C24 | 5DIAS!C25 |

The smallest and largest coefficients in the model were:

0.20000000

150000.00

The smallest coefficient occurred in constraint cell:
5DIAS!E6

on optimizable cell:
5DIAS!D6

The largest coefficient occurred in constraint cell:
5DIAS!I27

on optimizable cell:

5DIAS!I26

| CLASSIFICATION STATISTICS | Current / | Maximum |
|---------------------------|-----------|---------|
| Numeric | 989 / | 10000 |
| Adjustable | 70 / | 300 |
| Constraints | 152 / | 150 |
| Integers | 30 / | 30 |
| Optimizable | 438 | |
| Nonlinear | 20 / | 30 |
| Coefficients | 989 | |

Best integer value: 1301625 @ 12300 tries. Theoretical limit: 1301625

Solution Status: LOCALLY OPTIMAL.

Optimality Cond: SATISFIED.

Solution Time: 2 Hours 42 Minutes 58 Seconds

End of report.

Anexo E – Relatório de resposta – APGT

What'sBest! Solution Report

11/1/04 11:35 AM

OBJECTIVE CELL:

| CELL ADDRESS | VALUE | INITIAL VALUE | TYPE |
|-----------------|---------|------------------|------|
| 5DIAS!C29 | 1301625 | 1301625 | MAX |

ADJUSTABLE CELLS:

| CELL ADDRESS | VALUE | INITIAL VALUE | TYPE | DUAL VALUE |
|-----------------|--------|------------------|------|---------------|
| 5DIAS!B6 | 1 | 1 | Bin | 19387,52 |
| 5DIAS!D6 | 1000 | 1000 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G6 | 200 | 200 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!B7 | 1 | 1 | Bin | 19387,52 |
| 5DIAS!D7 | 1180,8 | 1155,763 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G7 | 19,2 | 44,23746 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!B8 | 1 | 1 | Bin | 19387,52 |
| 5DIAS!D8 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G8 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!I8 | 0 | 0 | Bin | 9850000 |
| 5DIAS!B9 | 1 | 1 | Bin | 19387,52 |
| 5DIAS!D9 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G9 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!I9 | 0 | 0 | Bin | 9850000 |
| 5DIAS!B10 | 1 | 1 | Bin | 19387,48 |
| 5DIAS!D10 | 1000 | 1037,808 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G10 | 200 | 162,1923 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!B11 | 1 | 1 | Bin | -10012,4 |
| 5DIAS!D11 | 1000 | 1155,763 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G11 | 200 | 44,23746 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!B12 | 0 | 0 | Bin | 48787,44 |
| 5DIAS!D12 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G12 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!I12 | 0 | 0 | Bin | 9850000 |
| 5DIAS!B13 | 0 | 0 | Bin | 19387,5 |
| 5DIAS!D13 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G13 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!I13 | 0 | 0 | Bin | 9850000 |
| 5DIAS!B14 | 0 | 0 | Bin | 19387,5 |
| 5DIAS!D14 | 1000 | 1155,766 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G14 | 200 | 44,23436 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!B15 | 0 | 0 | Bin | 19387,5 |
| 5DIAS!D15 | 1000 | 1155,702 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G15 | 200 | 44,29845 | >=0 | 0 |

| | | | | |
|------------|----------|----|------|--------------|
| 5DIAS!F7 | 216,96 | >= | 0 | E7 >= G7 |
| 5DIAS!M7 | 0 | <= | 100 | H7 <= N7 |
| 5DIAS!S7 | 541,5 | <= | 0 | R7 <= T7 |
| 5DIAS!V7 | 519,2 | <= | 0 | U7 <= W7 |
| 5DIAS!X7 | 13080,8 | <= | 0 | W7 <= Y7 |
| 5DIAS!AA7 | 5687,7 | <= | 0 | Z7 <= AB7 |
| 5DIAS!AC7 | 1512,3 | <= | 0 | AB7 <= AD7 |
| 5DIAS!F8 | 0 | >= | 0 | E8 >= G8 |
| 5DIAS!K8 | 0 | >= | -100 | J8 >= L8 |
| 5DIAS!M8 | 1200 | <= | 100 | H8 <= N8 |
| 5DIAS!S8 | 412,25 | <= | 0 | R8 <= T8 |
| 5DIAS!V8 | 1069,2 | <= | 0 | U8 <= W8 |
| 5DIAS!X8 | 12530,8 | <= | 0 | W8 <= Y8 |
| 5DIAS!AA8 | 5791,15 | <= | 0 | Z8 <= AB8 |
| 5DIAS!AC8 | 1408,85 | <= | 0 | AB8 <= AD8 |
| 5DIAS!F9 | 0 | >= | 0 | E9 >= G9 |
| 5DIAS!K9 | 0 | >= | -100 | J9 >= L9 |
| 5DIAS!M9 | 1200 | <= | 100 | H9 <= N9 |
| 5DIAS!S9 | 283 | <= | 0 | R9 <= T9 |
| 5DIAS!V9 | 1619,2 | <= | 0 | U9 <= W9 |
| 5DIAS!X9 | 11980,8 | <= | 0 | W9 <= Y9 |
| 5DIAS!AA9 | 5894,6 | <= | 0 | Z9 <= AB9 |
| 5DIAS!AC9 | 1305,4 | <= | 0 | AB9 <= AD9 |
| 5DIAS!F10 | 0 | >= | 0 | E10 >= G10 |
| 5DIAS!M10 | 0 | <= | 100 | H10 <= N10 |
| 5DIAS!S10 | 153,75 | <= | 0 | R10 <= T10 |
| 5DIAS!V10 | 1169,2 | <= | 0 | U10 <= W10 |
| 5DIAS!X10 | 12430,8 | <= | 0 | W10 <= Y10 |
| 5DIAS!AA10 | 5798,05 | <= | 0 | Z10 <= AB10 |
| 5DIAS!AC10 | 1401,95 | <= | 0 | AB10 <= AD10 |
| 5DIAS!F11 | 0 | >= | 0 | E11 >= G11 |
| 5DIAS!M11 | 0 | <= | 100 | H11 <= N11 |
| 5DIAS!S11 | 24,5 | <= | 0 | R11 <= T11 |
| 5DIAS!V11 | 719,2 | <= | 0 | U11 <= W11 |
| 5DIAS!X11 | 12880,8 | <= | 0 | W11 <= Y11 |
| 5DIAS!AA11 | 5701,5 | <= | 0 | Z11 <= AB11 |
| 5DIAS!AC11 | 1498,5 | <= | 0 | AB11 <= AD11 |
| 5DIAS!F12 | 0 | >= | 0 | E12 >= G12 |
| 5DIAS!K12 | 0 | >= | -100 | J12 >= L12 |
| 5DIAS!M12 | 1200 | <= | 100 | H12 <= N12 |
| 5DIAS!S12 | 24,5 | <= | 0 | R12 <= T12 |
| 5DIAS!V12 | 1309,15 | <= | 0 | U12 <= W12 |
| 5DIAS!X12 | 12290,85 | <= | 0 | W12 <= Y12 |
| 5DIAS!AA12 | 5894,25 | <= | 0 | Z12 <= AB12 |
| 5DIAS!AC12 | 1305,75 | <= | 0 | AB12 <= AD12 |
| 5DIAS!F13 | 0 | >= | 0 | E13 >= G13 |
| 5DIAS!K13 | 0 | >= | -100 | J13 >= L13 |
| 5DIAS!M13 | 1200 | <= | 100 | H13 <= N13 |
| 5DIAS!S13 | 24,5 | <= | 0 | R13 <= T13 |
| 5DIAS!V13 | 1899,1 | <= | 0 | U13 <= W13 |
| 5DIAS!X13 | 11700,9 | <= | 0 | W13 <= Y13 |
| 5DIAS!AA13 | 6087 | <= | 0 | Z13 <= |

| | | | |
|------------|----------|----|-----------------|
| | | | AB13 |
| 5DIAS!AC13 | 1113 | <= | 0 AB13 <= AD13 |
| 5DIAS!F14 | 0 | >= | 0 E14 >= G14 |
| 5DIAS!M14 | 0 | <= | 100 H14 <= N14 |
| 5DIAS!S14 | 24,5 | <= | 0 R14 <= T14 |
| 5DIAS!V14 | 1489,05 | <= | 0 U14 <= W14 |
| 5DIAS!X14 | 12110,95 | <= | 0 W14 <= Y14 |
| 5DIAS!AA14 | 6079,75 | <= | 0 Z14 <= AB14 |
| 5DIAS!AC14 | 1120,25 | <= | 0 AB14 <= AD14 |
| 5DIAS!F15 | 0 | >= | 0 E15 >= G15 |
| 5DIAS!M15 | 0 | <= | 100 H15 <= N15 |
| 5DIAS!S15 | 24,5 | <= | 0 R15 <= T15 |
| 5DIAS!V15 | 1079 | <= | 0 U15 <= W15 |
| 5DIAS!X15 | 12521 | <= | 0 W15 <= Y15 |
| 5DIAS!AA15 | 6072,5 | <= | 0 Z15 <= AB15 |
| 5DIAS!AC15 | 1127,5 | <= | 0 AB15 <= AD15 |
| 5DIAS!F16 | 0 | >= | 0 E16 >= G16 |
| 5DIAS!K16 | 0 | >= | -100 J16 >= L16 |
| 5DIAS!M16 | 1200 | <= | 100 H16 <= N16 |
| 5DIAS!S16 | 24,5 | <= | 0 R16 <= T16 |
| 5DIAS!V16 | 1668,95 | <= | 0 U16 <= W16 |
| 5DIAS!X16 | 11931,05 | <= | 0 W16 <= Y16 |
| 5DIAS!AA16 | 6265,25 | <= | 0 Z16 <= AB16 |
| 5DIAS!AC16 | 934,75 | <= | 0 AB16 <= AD16 |
| 5DIAS!F17 | 0 | >= | 0 E17 >= G17 |
| 5DIAS!K17 | 0 | >= | -100 J17 >= L17 |
| 5DIAS!M17 | 1200 | <= | 100 H17 <= N17 |
| 5DIAS!S17 | 24,5 | <= | 0 R17 <= T17 |
| 5DIAS!V17 | 2258,9 | <= | 0 U17 <= W17 |
| 5DIAS!X17 | 11341,1 | <= | 0 W17 <= Y17 |
| 5DIAS!AA17 | 6458 | <= | 0 Z17 <= AB17 |
| 5DIAS!AC17 | 742 | <= | 0 AB17 <= AD17 |
| 5DIAS!F18 | 0 | >= | 0 E18 >= G18 |
| 5DIAS!M18 | 0 | <= | 100 H18 <= N18 |
| 5DIAS!S18 | 24,5 | <= | 0 R18 <= T18 |
| 5DIAS!V18 | 1848,85 | <= | 0 U18 <= W18 |
| 5DIAS!X18 | 11751,15 | <= | 0 W18 <= Y18 |
| 5DIAS!AA18 | 6450,75 | <= | 0 Z18 <= AB18 |
| 5DIAS!AC18 | 749,25 | <= | 0 AB18 <= AD18 |
| 5DIAS!F19 | 0 | >= | 0 E19 >= G19 |
| 5DIAS!M19 | 0 | <= | 100 H19 <= N19 |
| 5DIAS!S19 | 24,5 | <= | 0 R19 <= T19 |
| 5DIAS!V19 | 1438,8 | <= | 0 U19 <= W19 |
| 5DIAS!X19 | 12161,2 | <= | 0 W19 <= Y19 |
| 5DIAS!AA19 | 6443,5 | <= | 0 Z19 <= AB19 |
| 5DIAS!AC19 | 756,5 | <= | 0 AB19 <= AD19 |
| 5DIAS!F20 | 0 | >= | 0 E20 >= G20 |

| | | | |
|------------|----------|----|-----------------|
| 5DIAS!K20 | 0 | >= | -100 J20 >= L20 |
| 5DIAS!M20 | 1200 | <= | 100 H20 <= N20 |
| 5DIAS!S20 | 24,5 | <= | 0 R20 <= T20 |
| 5DIAS!V20 | 2028,75 | <= | 0 U20 <= W20 |
| 5DIAS!X20 | 11571,25 | <= | 0 W20 <= Y20 |
| 5DIAS!AA20 | 6636,25 | <= | 0 Z20 <= AB20 |
| 5DIAS!AC20 | 563,75 | <= | 0 AB20 <= AD20 |
| 5DIAS!F21 | 0 | >= | 0 E21 >= G21 |
| 5DIAS!K21 | 0 | >= | -100 J21 >= L21 |
| 5DIAS!M21 | 1200 | <= | 100 H21 <= N21 |
| 5DIAS!S21 | 24,5 | <= | 0 R21 <= T21 |
| 5DIAS!V21 | 2618,7 | <= | 0 U21 <= W21 |
| 5DIAS!X21 | 10981,3 | <= | 0 W21 <= Y21 |
| 5DIAS!AA21 | 6829 | <= | 0 Z21 <= AB21 |
| 5DIAS!AC21 | 371 | <= | 0 AB21 <= AD21 |
| 5DIAS!F22 | 0 | >= | 0 E22 >= G22 |
| 5DIAS!M22 | 0 | <= | 100 H22 <= N22 |
| 5DIAS!S22 | 24,5 | <= | 0 R22 <= T22 |
| 5DIAS!V22 | 2208,65 | <= | 0 U22 <= W22 |
| 5DIAS!X22 | 11391,35 | <= | 0 W22 <= Y22 |
| 5DIAS!AA22 | 6821,75 | <= | 0 Z22 <= AB22 |
| 5DIAS!AC22 | 378,25 | <= | 0 AB22 <= AD22 |
| 5DIAS!F23 | 0 | >= | 0 E23 >= G23 |
| 5DIAS!M23 | 0 | <= | 100 H23 <= N23 |
| 5DIAS!S23 | 24,5 | <= | 0 R23 <= T23 |
| 5DIAS!V23 | 1798,6 | <= | 0 U23 <= W23 |
| 5DIAS!X23 | 11801,4 | <= | 0 W23 <= Y23 |
| 5DIAS!AA23 | 6814,5 | <= | 0 Z23 <= AB23 |
| 5DIAS!AC23 | 385,5 | <= | 0 AB23 <= AD23 |
| 5DIAS!F24 | 0 | >= | 0 E24 >= G24 |
| 5DIAS!K24 | 0 | >= | -100 J24 >= L24 |
| 5DIAS!M24 | 1200 | <= | 100 H24 <= N24 |
| 5DIAS!S24 | 24,5 | <= | 0 R24 <= T24 |
| 5DIAS!V24 | 2388,55 | <= | 0 U24 <= W24 |
| 5DIAS!X24 | 11211,45 | <= | 0 W24 <= Y24 |
| 5DIAS!AA24 | 7007,25 | <= | 0 Z24 <= AB24 |
| 5DIAS!AC24 | 192,75 | <= | 0 AB24 <= AD24 |
| 5DIAS!F25 | 0 | >= | 0 E25 >= G25 |
| 5DIAS!K25 | 0 | >= | -100 J25 >= L25 |
| 5DIAS!M25 | 1200 | <= | 100 H25 <= N25 |
| 5DIAS!S25 | 24,5 | <= | 0 R25 <= T25 |
| 5DIAS!V25 | 2978,5 | <= | 0 U25 <= W25 |
| 5DIAS!X25 | 10621,5 | <= | 0 W25 <= Y25 |
| 5DIAS!AA25 | 7200 | <= | 0 Z25 <= AB25 |
| 5DIAS!AC25 | 0 | <= | 0 AB25 <= AD25 |
| 5DIAS!D32 | 3500 | <= | -1 C32 <= E32 |
| 5DIAS!F32 | 2200 | <= | 0 E32 <= G32 |

Anexo F – Relatório de saída – ACU

What'sBest! 7.0 Status Report

11/1/04 4:03 PM

Solver memory allocated: 16384

Unimplemented function warning has been turned off

Missing objective cell warning has been turned off

Model before Linearization:

| CLASSIFICATION STATISTICS | Original |
|---------------------------|----------|
| Numeric | 989 |
| Adjustable | 70 |
| Constraints | 152 |
| Integers | 30 |
| Optimizable | 438 |

Linearization Enabled:

Big M parameter: 60000.

Delta parameter: 0.00000E+00

Model Type: NONLINEAR / INTEGER

NONLINEARITY PRESENT WARNING

The cells below contain nonlinear expressions. If these cells are used only for reporting, then, for efficiency, they should be included in a WBOMIT range (refer to documentation). Nonlinear cells may be linearized automatically by the Linearization option that is set in the General Options dialog box. This warning can be turned off with the Nonlinearity Present checkbox in the General Options dialog box.

| | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 5DIAS!C6 | 5DIAS!C7 | 5DIAS!C8 | 5DIAS!C9 |
| 5DIAS!C10 | 5DIAS!C11 | 5DIAS!C12 | 5DIAS!C13 |
| 5DIAS!C14 | 5DIAS!C15 | 5DIAS!C16 | 5DIAS!C17 |
| 5DIAS!C18 | 5DIAS!C19 | 5DIAS!C20 | 5DIAS!C21 |
| 5DIAS!C22 | 5DIAS!C23 | 5DIAS!C24 | 5DIAS!C25 |

The smallest and largest coefficients in the model were:

0.20000000 150000.00

The smallest coefficient occurred in constraint cell: 5DIAS!E6
on optimizable cell: 5DIAS!D6

The largest coefficient occurred in constraint cell: 5DIAS!I27
on optimizable cell: 5DIAS!I26

| CLASSIFICATION STATISTICS | Current / | Maximum |
|---------------------------|-----------|---------|
| Numeric | 989 / | 10000 |
| Adjustable | 70 / | 300 |
| Constraints | 152 / | 150 |
| Integers | 30 / | 30 |
| Optimizable | 438 | |
| Nonlinear | 20 / | 30 |
| Coefficients | 989 | |

Best integer value: 1291050 @ 21008 tries. Theoretical limit: 1291050

Solution Status: LOCALLY OPTIMAL.

Optimality Cond: SATISFIED.

Solution Time: 2 Hours 8 Minutes 12 Seconds

End of report.

Anexo G – Relatório de resposta – ACU

What'sBest! Solution Report

11/1/04 4:03 PM

OBJECTIVE CELL:

| CELL | | INITIAL | |
|-----------|---------|---------|------|
| ADDRESS | VALUE | VALUE | TYPE |
| 5DIAS!C29 | 1291050 | 1291050 | MAX |

ADJUSTABLE CELLS:

| CELL | | INITIAL | | DUAL |
|-----------|-------|----------|------|----------|
| ADDRESS | VALUE | VALUE | TYPE | VALUE |
| 5DIAS!B6 | 1 | 1 | Bin | 17625,02 |
| 5DIAS!D6 | 1000 | 1000 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G6 | 200 | 200 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!B7 | 1 | 1 | Bin | 17625,02 |
| 5DIAS!D7 | 1000 | 1155,763 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G7 | 200 | 44,23746 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!B8 | 1 | 1 | Bin | 17625,02 |
| 5DIAS!D8 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G8 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!I8 | 0 | 0 | Bin | 9850000 |
| 5DIAS!B9 | 1 | 1 | Bin | 17625,02 |
| 5DIAS!D9 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G9 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!I9 | 0 | 0 | Bin | 9850000 |
| 5DIAS!B10 | 1 | 1 | Bin | 17624,98 |
| 5DIAS!D10 | 1000 | 1037,808 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G10 | 200 | 162,1923 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!B11 | 1 | 1 | Bin | -11774,9 |
| 5DIAS!D11 | 1000 | 1155,763 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G11 | 200 | 44,23746 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!B12 | 0 | 0 | Bin | 47024,94 |
| 5DIAS!D12 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G12 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!I12 | 0 | 0 | Bin | 9850000 |
| 5DIAS!B13 | 0 | 0 | Bin | 17625 |
| 5DIAS!D13 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G13 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!I13 | 0 | 0 | Bin | 9850000 |
| 5DIAS!B14 | 0 | 0 | Bin | 17625 |
| 5DIAS!D14 | 1000 | 1155,766 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G14 | 200 | 44,23436 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!B15 | 0 | 0 | Bin | 17625 |
| 5DIAS!D15 | 1000 | 1155,702 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G15 | 200 | 44,29845 | >=0 | 0 |

| | | | | |
|------------|----------|----|------|--------------|
| 5DIAS!F7 | 0 | >= | 0 | E7 >= G7 |
| 5DIAS!M7 | 0 | <= | 100 | H7 <= N7 |
| 5DIAS!S7 | 565 | <= | 0 | R7 <= T7 |
| 5DIAS!V7 | 600 | <= | 0 | U7 <= W7 |
| 5DIAS!X7 | 13000 | <= | 0 | W7 <= Y7 |
| 5DIAS!AA7 | 5478,24 | <= | 0 | Z7 <= AB7 |
| 5DIAS!AC7 | 1721,76 | <= | 0 | AB7 <= AD7 |
| 5DIAS!F8 | 0 | >= | 0 | E8 >= G8 |
| 5DIAS!K8 | 0 | >= | -100 | J8 >= L8 |
| 5DIAS!M8 | 1200 | <= | 100 | H8 <= N8 |
| 5DIAS!S8 | 447,5 | <= | 0 | R8 <= T8 |
| 5DIAS!V8 | 1100 | <= | 0 | U8 <= W8 |
| 5DIAS!X8 | 12500 | <= | 0 | W8 <= Y8 |
| 5DIAS!AA8 | 5567,36 | <= | 0 | Z8 <= AB8 |
| 5DIAS!AC8 | 1632,64 | <= | 0 | AB8 <= AD8 |
| 5DIAS!F9 | 0 | >= | 0 | E9 >= G9 |
| 5DIAS!K9 | 0 | >= | -100 | J9 >= L9 |
| 5DIAS!M9 | 1200 | <= | 100 | H9 <= N9 |
| 5DIAS!S9 | 330 | <= | 0 | R9 <= T9 |
| 5DIAS!V9 | 1600 | <= | 0 | U9 <= W9 |
| 5DIAS!X9 | 12000 | <= | 0 | W9 <= Y9 |
| 5DIAS!AA9 | 5656,48 | <= | 0 | Z9 <= AB9 |
| 5DIAS!AC9 | 1543,52 | <= | 0 | AB9 <= AD9 |
| 5DIAS!F10 | 0 | >= | 0 | E10 >= G10 |
| 5DIAS!M10 | 0 | <= | 100 | H10 <= N10 |
| 5DIAS!S10 | 212,5 | <= | 0 | R10 <= T10 |
| 5DIAS!V10 | 1100 | <= | 0 | U10 <= W10 |
| 5DIAS!X10 | 12500 | <= | 0 | W10 <= Y10 |
| 5DIAS!AA10 | 5545,6 | <= | 0 | Z10 <= AB10 |
| 5DIAS!AC10 | 1654,4 | <= | 0 | AB10 <= AD10 |
| 5DIAS!F11 | 0 | >= | 0 | E11 >= G11 |
| 5DIAS!M11 | 0 | <= | 100 | H11 <= N11 |
| 5DIAS!S11 | 95 | <= | 0 | R11 <= T11 |
| 5DIAS!V11 | 600 | <= | 0 | U11 <= W11 |
| 5DIAS!X11 | 13000 | <= | 0 | W11 <= Y11 |
| 5DIAS!AA11 | 5434,72 | <= | 0 | Z11 <= AB11 |
| 5DIAS!AC11 | 1765,28 | <= | 0 | AB11 <= AD11 |
| 5DIAS!F12 | 0 | >= | 0 | E12 >= G12 |
| 5DIAS!K12 | 0 | >= | -100 | J12 >= L12 |
| 5DIAS!M12 | 1200 | <= | 100 | H12 <= N12 |
| 5DIAS!S12 | 95 | <= | 0 | R12 <= T12 |
| 5DIAS!V12 | 1156,02 | <= | 0 | U12 <= W12 |
| 5DIAS!X12 | 12443,98 | <= | 0 | W12 <= Y12 |
| 5DIAS!AA12 | 5585,32 | <= | 0 | Z12 <= AB12 |
| 5DIAS!AC12 | 1614,68 | <= | 0 | AB12 <= AD12 |
| 5DIAS!F13 | 0 | >= | 0 | E13 >= G13 |
| 5DIAS!K13 | 0 | >= | -100 | J13 >= L13 |
| 5DIAS!M13 | 1200 | <= | 100 | H13 <= N13 |
| 5DIAS!S13 | 95 | <= | 0 | R13 <= T13 |
| 5DIAS!V13 | 1712,04 | <= | 0 | U13 <= W13 |
| 5DIAS!X13 | 11887,96 | <= | 0 | W13 <= Y13 |
| 5DIAS!AA13 | 5735,92 | <= | 0 | Z13 <= |

| | | | |
|------------|----------|----|-----------------|
| | | | AB13 |
| 5DIAS!AC13 | 1464,08 | <= | 0 AB13 <= |
| | | | AD13 |
| 5DIAS!F14 | 0 | >= | 0 E14 >= G14 |
| 5DIAS!M14 | 0 | <= | 100 H14 <= N14 |
| 5DIAS!S14 | 95 | <= | 0 R14 <= T14 |
| 5DIAS!V14 | 1268,06 | <= | 0 U14 <= W14 |
| 5DIAS!X14 | 12331,94 | <= | 0 W14 <= Y14 |
| 5DIAS!AA14 | 5686,52 | <= | 0 Z14 <= |
| | | | AB14 |
| 5DIAS!AC14 | 1513,48 | <= | 0 AB14 <= |
| | | | AD14 |
| 5DIAS!F15 | 0 | >= | 0 E15 >= G15 |
| 5DIAS!M15 | 0 | <= | 100 H15 <= N15 |
| 5DIAS!S15 | 95 | <= | 0 R15 <= T15 |
| 5DIAS!V15 | 824,08 | <= | 0 U15 <= W15 |
| 5DIAS!X15 | 12775,92 | <= | 0 W15 <= Y15 |
| 5DIAS!AA15 | 5637,12 | <= | 0 Z15 <= |
| | | | AB15 |
| 5DIAS!AC15 | 1562,88 | <= | 0 AB15 <= |
| | | | AD15 |
| 5DIAS!F16 | 0 | >= | 0 E16 >= G16 |
| 5DIAS!K16 | 0 | >= | -100 J16 >= L16 |
| 5DIAS!M16 | 1200 | <= | 100 H16 <= N16 |
| 5DIAS!S16 | 95 | <= | 0 R16 <= T16 |
| 5DIAS!V16 | 1380,1 | <= | 0 U16 <= W16 |
| 5DIAS!X16 | 12219,9 | <= | 0 W16 <= Y16 |
| 5DIAS!AA16 | 5787,72 | <= | 0 Z16 <= |
| | | | AB16 |
| 5DIAS!AC16 | 1412,28 | <= | 0 AB16 <= |
| | | | AD16 |
| 5DIAS!F17 | 0 | >= | 0 E17 >= G17 |
| 5DIAS!K17 | 0 | >= | -100 J17 >= L17 |
| 5DIAS!M17 | 1200 | <= | 100 H17 <= N17 |
| 5DIAS!S17 | 95 | <= | 0 R17 <= T17 |
| 5DIAS!V17 | 1936,12 | <= | 0 U17 <= W17 |
| 5DIAS!X17 | 11663,88 | <= | 0 W17 <= Y17 |
| 5DIAS!AA17 | 5938,32 | <= | 0 Z17 <= |
| | | | AB17 |
| 5DIAS!AC17 | 1261,68 | <= | 0 AB17 <= |
| | | | AD17 |
| 5DIAS!F18 | 0 | >= | 0 E18 >= G18 |
| 5DIAS!M18 | 0 | <= | 100 H18 <= N18 |
| 5DIAS!S18 | 95 | <= | 0 R18 <= T18 |
| 5DIAS!V18 | 1492,14 | <= | 0 U18 <= W18 |
| 5DIAS!X18 | 12107,86 | <= | 0 W18 <= Y18 |
| 5DIAS!AA18 | 5888,92 | <= | 0 Z18 <= |
| | | | AB18 |
| 5DIAS!AC18 | 1311,08 | <= | 0 AB18 <= |
| | | | AD18 |
| 5DIAS!F19 | 0 | >= | 0 E19 >= G19 |
| 5DIAS!M19 | 0 | <= | 100 H19 <= N19 |
| 5DIAS!S19 | 95 | <= | 0 R19 <= T19 |
| 5DIAS!V19 | 1048,16 | <= | 0 U19 <= W19 |
| 5DIAS!X19 | 12551,84 | <= | 0 W19 <= Y19 |
| 5DIAS!AA19 | 5839,52 | <= | 0 Z19 <= |
| | | | AB19 |
| 5DIAS!AC19 | 1360,48 | <= | 0 AB19 <= |
| | | | AD19 |
| 5DIAS!F20 | 0 | >= | 0 E20 >= G20 |

| | | | |
|------------|----------|----|-----------------|
| 5DIAS!K20 | 0 | >= | -100 J20 >= L20 |
| 5DIAS!M20 | 1200 | <= | 100 H20 <= N20 |
| 5DIAS!S20 | 95 | <= | 0 R20 <= T20 |
| 5DIAS!V20 | 1604,18 | <= | 0 U20 <= W20 |
| 5DIAS!X20 | 11995,82 | <= | 0 W20 <= Y20 |
| 5DIAS!AA20 | 5990,12 | <= | 0 Z20 <= AB20 |
| 5DIAS!AC20 | 1209,88 | <= | 0 AB20 <= AD20 |
| 5DIAS!F21 | 0 | >= | 0 E21 >= G21 |
| 5DIAS!K21 | 0 | >= | -100 J21 >= L21 |
| 5DIAS!M21 | 1200 | <= | 100 H21 <= N21 |
| 5DIAS!S21 | 95 | <= | 0 R21 <= T21 |
| 5DIAS!V21 | 2160,2 | <= | 0 U21 <= W21 |
| 5DIAS!X21 | 11439,8 | <= | 0 W21 <= Y21 |
| 5DIAS!AA21 | 6140,72 | <= | 0 Z21 <= AB21 |
| 5DIAS!AC21 | 1059,28 | <= | 0 AB21 <= AD21 |
| 5DIAS!F22 | 0 | >= | 0 E22 >= G22 |
| 5DIAS!M22 | 0 | <= | 100 H22 <= N22 |
| 5DIAS!S22 | 95 | <= | 0 R22 <= T22 |
| 5DIAS!V22 | 1716,22 | <= | 0 U22 <= W22 |
| 5DIAS!X22 | 11883,78 | <= | 0 W22 <= Y22 |
| 5DIAS!AA22 | 6091,32 | <= | 0 Z22 <= AB22 |
| 5DIAS!AC22 | 1108,68 | <= | 0 AB22 <= AD22 |
| 5DIAS!F23 | 0 | >= | 0 E23 >= G23 |
| 5DIAS!M23 | 0 | <= | 100 H23 <= N23 |
| 5DIAS!S23 | 95 | <= | 0 R23 <= T23 |
| 5DIAS!V23 | 1272,24 | <= | 0 U23 <= W23 |
| 5DIAS!X23 | 12327,76 | <= | 0 W23 <= Y23 |
| 5DIAS!AA23 | 6041,92 | <= | 0 Z23 <= AB23 |
| 5DIAS!AC23 | 1158,08 | <= | 0 AB23 <= AD23 |
| 5DIAS!F24 | 0 | >= | 0 E24 >= G24 |
| 5DIAS!K24 | 0 | >= | -100 J24 >= L24 |
| 5DIAS!M24 | 1200 | <= | 100 H24 <= N24 |
| 5DIAS!S24 | 95 | <= | 0 R24 <= T24 |
| 5DIAS!V24 | 1828,26 | <= | 0 U24 <= W24 |
| 5DIAS!X24 | 11771,74 | <= | 0 W24 <= Y24 |
| 5DIAS!AA24 | 6192,52 | <= | 0 Z24 <= AB24 |
| 5DIAS!AC24 | 1007,48 | <= | 0 AB24 <= AD24 |
| 5DIAS!F25 | 0 | >= | 0 E25 >= G25 |
| 5DIAS!K25 | 0 | >= | -100 J25 >= L25 |
| 5DIAS!M25 | 1200 | <= | 100 H25 <= N25 |
| 5DIAS!S25 | 95 | <= | 0 R25 <= T25 |
| 5DIAS!V25 | 2384,28 | <= | 0 U25 <= W25 |
| 5DIAS!X25 | 11215,72 | <= | 0 W25 <= Y25 |
| 5DIAS!AA25 | 6343,12 | <= | 0 Z25 <= AB25 |
| 5DIAS!AC25 | 856,88 | <= | 0 AB25 <= AD25 |
| 5DIAS!D32 | 3500 | <= | -1 C32 <= E32 |
| 5DIAS!F32 | 2200 | <= | 0 E32 <= G32 |

Anexo H – Relatório de status – Novo período

What'sBest! 7.0 Status Report
11/15/04 1:26 PM

Solver memory allocated: 16384

Unimplemented function warning has been turned off
Missing objective cell warning has been turned off

Model before Linearization:

CLASSIFICATION STATISTICS
Original

```

-----
--
Numeric
989
Adjustable
70
Constraints
152
Integers
30
Optimizable
438

```

Linearization Enabled:

Big M parameter: 60000.
Delta parameter: 0.00000E+00

Model Type: NONLINEAR / INTEGER

NONLINEARITY PRESENT WARNING

The cells below contain nonlinear expressions. If these cells are used only for reporting, then, for efficiency, they should be included in a WBOMIT range (refer to documentation). Nonlinear cells may be linearized automatically by the Linearization option that is set in the General Options dialog box. This warning can be turned off with the Nonlinearity Present checkbox in the General Options dialog box.

| | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 5DIAS!C6 | 5DIAS!C7 | 5DIAS!C8 | 5DIAS!C9 |
| 5DIAS!C10 | 5DIAS!C11 | 5DIAS!C12 | 5DIAS!C13 |
| 5DIAS!C14 | 5DIAS!C15 | 5DIAS!C16 | 5DIAS!C17 |
| 5DIAS!C18 | 5DIAS!C19 | 5DIAS!C20 | 5DIAS!C21 |
| 5DIAS!C22 | 5DIAS!C23 | 5DIAS!C24 | 5DIAS!C25 |

The smallest and largest coefficients in the model were:

0.20000000

150000.00

The smallest coefficient occurred in constraint
 cell: 5DIAS!E6
 on optimizable
 cell: 5DIAS!D6

The largest coefficient occurred in constraint
 cell: 5DIAS!I27
 on optimizable
 cell: 5DIAS!I26

| CLASSIFICATION STATISTICS | | Current / |
|---------------------------|--------------|-----------|
| Maximum | | |
| ----- | | |
| 10000 | Numeric | 989 / |
| 300 | Adjustable | 70 / |
| 150 | Constraints | 152 / |
| 30 | Integers | 30 / |
| 438 | Optimizable | |
| 30 | Nonlinear | 20 / |
| 989 | Coefficients | |

Best integer value: 1301002 @ 10811 tries. Theoretical limit: 1301002

Solution Status: LOCALLY OPTIMAL.
 Optimality Cond: SATISFIED.

Solution Time: 2 Hours 58 Minutes 32 Seconds

End of report.

Anexo I – Relatório de resposta – Novo período

What'sBest! Solution Report
11/15/04 1:26 PM

OBJECTIVE CELL:

| CELL ADDRESS | VALUE | INITIAL VALUE | TYPE |
|-----------------|---------|------------------|------|
| 5DIAS!C29 | 1301002 | 1384280 | MAX |

ADJUSTABLE CELLS:

| CELL ADDRESS | VALUE | INITIAL VALUE | TYPE | DUAL VALUE |
|-----------------|----------|------------------|------|---------------|
| 5DIAS!B6 | 0 | 0 | Bin | 16066,1 |
| 5DIAS!D6 | 629,9125 | 159,825 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G6 | 125,9825 | 31,965 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!B7 | 0 | 0 | Bin | 16066,13 |
| 5DIAS!D7 | 529,9125 | 1000 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G7 | 105,9825 | 200 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!B8 | 0 | 1 | Bin | 16655,63 |
| 5DIAS!D8 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G8 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!I8 | 0 | 0 | Bin | 9850000 |
| 5DIAS!B9 | 0 | 1 | Bin | 16655,63 |
| 5DIAS!D9 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G9 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!I9 | 0 | 0 | Bin | 9850000 |
| 5DIAS!B10 | 0 | 1 | Bin | 16655,63 |
| 5DIAS!D10 | 1000 | 1100 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G10 | 200 | 100 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!B11 | 0 | 1 | Bin | 16655,63 |
| 5DIAS!D11 | 1000 | 1000 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G11 | 200 | 200 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!B12 | 0 | 1 | Bin | 46055,57 |
| 5DIAS!D12 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G12 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!I12 | 0 | 0 | Bin | 9850000 |
| 5DIAS!B13 | 1 | 1 | Bin | -12744,3 |
| 5DIAS!D13 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G13 | 0 | 0 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!I13 | 0 | 0 | Bin | 9850000 |
| 5DIAS!B14 | 1 | 1 | Bin | 16655,61 |
| 5DIAS!D14 | 1000 | 1000 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!G14 | 200 | 200 | >=0 | 0 |
| 5DIAS!B15 | 1 | 1 | Bin | 16655,64 |
| 5DIAS!D15 | 1000 | 1000 | >=0 | 0 |

| | | | |
|------------|----------|----|-----------------|
| 5DIAS!AC6 | 4908,145 | <= | 0 AB6 <= AD6 |
| 5DIAS!F7 | 0 | >= | -100 E7 >= G7 |
| 5DIAS!M7 | 564,105 | <= | 0 H7 <= N7 |
| 5DIAS!S7 | 1450 | <= | 0 R7 <= T7 |
| 5DIAS!V7 | 0 | <= | 0 U7 <= W7 |
| 5DIAS!X7 | 13600 | <= | -120 W7 <= Y7 |
| 5DIAS!AA7 | 2403,71 | <= | 0 Z7 <= AB7 |
| 5DIAS!AC7 | 4796,29 | <= | 0 AB7 <= AD7 |
| 5DIAS!F8 | 0 | >= | 0 E8 >= G8 |
| 5DIAS!K8 | 0 | >= | -100 J8 >= L8 |
| 5DIAS!M8 | 1200 | <= | 100 H8 <= N8 |
| 5DIAS!S8 | 1450 | <= | 0 R8 <= T8 |
| 5DIAS!V8 | 529,9125 | <= | 0 U8 <= W8 |
| 5DIAS!X8 | 13070,09 | <= | 0 W8 <= Y8 |
| 5DIAS!AA8 | 2621,548 | <= | 0 Z8 <= AB8 |
| 5DIAS!AC8 | 4578,453 | <= | 0 AB8 <= AD8 |
| 5DIAS!F9 | 0 | >= | 0 E9 >= G9 |
| 5DIAS!K9 | 0 | >= | -100 J9 >= L9 |
| 5DIAS!M9 | 1200 | <= | 100 H9 <= N9 |
| 5DIAS!S9 | 1450 | <= | 0 R9 <= T9 |
| 5DIAS!V9 | 1059,825 | <= | 0 U9 <= W9 |
| 5DIAS!X9 | 12540,17 | <= | 0 W9 <= Y9 |
| 5DIAS!AA9 | 2839,385 | <= | 0 Z9 <= AB9 |
| 5DIAS!AC9 | 4360,615 | <= | 0 AB9 <= AD9 |
| 5DIAS!F10 | 0 | >= | 0 E10 >= G10 |
| 5DIAS!M10 | 0 | <= | 100 H10 <= N10 |
| 5DIAS!S10 | 1450 | <= | 0 R10 <= T10 |
| 5DIAS!V10 | 589,7375 | <= | 0 U10 <= W10 |
| 5DIAS!X10 | 13010,26 | <= | 0 W10 <= Y10 |
| 5DIAS!AA10 | 2857,222 | <= | 0 Z10 <= AB10 |
| 5DIAS!AC10 | 4342,777 | <= | 0 AB10 <= AD10 |
| 5DIAS!F11 | 0 | >= | 0 E11 >= G11 |
| 5DIAS!M11 | 0 | <= | 100 H11 <= N11 |
| 5DIAS!S11 | 1450 | <= | 0 R11 <= T11 |
| 5DIAS!V11 | 119,65 | <= | 0 U11 <= W11 |
| 5DIAS!X11 | 13480,35 | <= | 0 W11 <= Y11 |
| 5DIAS!AA11 | 2875,06 | <= | 0 Z11 <= AB11 |
| 5DIAS!AC11 | 4324,94 | <= | 0 AB11 <= AD11 |
| 5DIAS!F12 | 0 | >= | 0 E12 >= G12 |
| 5DIAS!K12 | 0 | >= | -100 J12 >= L12 |
| 5DIAS!M12 | 1200 | <= | 100 H12 <= N12 |
| 5DIAS!S12 | 1450 | <= | 0 R12 <= T12 |
| 5DIAS!V12 | 649,5625 | <= | 0 U12 <= W12 |
| 5DIAS!X12 | 12950,44 | <= | 0 W12 <= Y12 |
| 5DIAS!AA12 | 3092,897 | <= | 0 Z12 <= AB12 |
| 5DIAS!AC12 | 4107,103 | <= | 0 AB12 <= AD12 |
| 5DIAS!F13 | 0 | >= | 0 E13 >= G13 |
| 5DIAS!K13 | 0 | >= | -100 J13 >= L13 |
| 5DIAS!M13 | 1200 | <= | 100 H13 <= N13 |
| 5DIAS!S13 | 1338,963 | <= | 0 R13 <= T13 |
| 5DIAS!V13 | 1174,563 | <= | 0 U13 <= W13 |
| 5DIAS!X13 | 12425,44 | <= | 0 W13 <= Y13 |

| | | | | |
|------------|----------|----|------|--------------|
| 5DIAS!AA13 | 3204,61 | <= | 0 | Z13 <= AB13 |
| 5DIAS!AC13 | 3995,39 | <= | 0 | AB13 <= AD13 |
| 5DIAS!F14 | 0 | >= | 0 | E14 >= G14 |
| 5DIAS!M14 | 0 | <= | 100 | H14 <= N14 |
| 5DIAS!S14 | 1227,925 | <= | 0 | R14 <= T14 |
| 5DIAS!V14 | 699,5625 | <= | 0 | U14 <= W14 |
| 5DIAS!X14 | 12900,44 | <= | 0 | W14 <= Y14 |
| 5DIAS!AA14 | 3116,323 | <= | 0 | Z14 <= AB14 |
| 5DIAS!AC14 | 4083,677 | <= | 0 | AB14 <= AD14 |
| 5DIAS!F15 | 0 | >= | 0 | E15 >= G15 |
| 5DIAS!M15 | 0 | <= | 100 | H15 <= N15 |
| 5DIAS!S15 | 1116,887 | <= | 0 | R15 <= T15 |
| 5DIAS!V15 | 224,5625 | <= | 0 | U15 <= W15 |
| 5DIAS!X15 | 13375,44 | <= | 0 | W15 <= Y15 |
| 5DIAS!AA15 | 3028,035 | <= | 0 | Z15 <= AB15 |
| 5DIAS!AC15 | 4171,965 | <= | 0 | AB15 <= AD15 |
| 5DIAS!F16 | 0 | >= | 0 | E16 >= G16 |
| 5DIAS!K16 | 0 | >= | -100 | J16 >= L16 |
| 5DIAS!M16 | 1200 | <= | 100 | H16 <= N16 |
| 5DIAS!S16 | 1005,85 | <= | 0 | R16 <= T16 |
| 5DIAS!V16 | 749,5625 | <= | 0 | U16 <= W16 |
| 5DIAS!X16 | 12850,44 | <= | 0 | W16 <= Y16 |
| 5DIAS!AA16 | 3139,748 | <= | 0 | Z16 <= AB16 |
| 5DIAS!AC16 | 4060,252 | <= | 0 | AB16 <= AD16 |
| 5DIAS!F17 | 0 | >= | 0 | E17 >= G17 |
| 5DIAS!K17 | 0 | >= | -100 | J17 >= L17 |
| 5DIAS!M17 | 1200 | <= | 100 | H17 <= N17 |
| 5DIAS!S17 | 894,8125 | <= | 0 | R17 <= T17 |
| 5DIAS!V17 | 1274,563 | <= | 0 | U17 <= W17 |
| 5DIAS!X17 | 12325,44 | <= | 0 | W17 <= Y17 |
| 5DIAS!AA17 | 3251,46 | <= | 0 | Z17 <= AB17 |
| 5DIAS!AC17 | 3948,54 | <= | 0 | AB17 <= AD17 |
| 5DIAS!F18 | 0 | >= | 0 | E18 >= G18 |
| 5DIAS!M18 | 0 | <= | 100 | H18 <= N18 |
| 5DIAS!S18 | 783,775 | <= | 0 | R18 <= T18 |
| 5DIAS!V18 | 799,5625 | <= | 0 | U18 <= W18 |
| 5DIAS!X18 | 12800,44 | <= | 0 | W18 <= Y18 |
| 5DIAS!AA18 | 3163,173 | <= | 0 | Z18 <= AB18 |
| 5DIAS!AC18 | 4036,827 | <= | 0 | AB18 <= AD18 |
| 5DIAS!F19 | 0 | >= | 0 | E19 >= G19 |
| 5DIAS!M19 | 0 | <= | 100 | H19 <= N19 |
| 5DIAS!S19 | 672,7375 | <= | 0 | R19 <= T19 |
| 5DIAS!V19 | 324,5625 | <= | 0 | U19 <= W19 |
| 5DIAS!X19 | 13275,44 | <= | 0 | W19 <= Y19 |
| 5DIAS!AA19 | 3074,885 | <= | 0 | Z19 <= AB19 |
| 5DIAS!AC19 | 4125,115 | <= | 0 | AB19 <= AD19 |
| 5DIAS!F20 | 0 | >= | 0 | E20 >= G20 |

| | | | |
|------------|----------|----|-----------------|
| 5DIAS!K20 | 0 | >= | -100 J20 >= L20 |
| 5DIAS!M20 | 1200 | <= | 100 H20 <= N20 |
| 5DIAS!S20 | 561,7 | <= | 0 R20 <= T20 |
| 5DIAS!V20 | 849,5625 | <= | 0 U20 <= W20 |
| 5DIAS!X20 | 12750,44 | <= | 0 W20 <= Y20 |
| 5DIAS!AA20 | 3186,597 | <= | 0 Z20 <= AB20 |
| 5DIAS!AC20 | 4013,403 | <= | 0 AB20 <= AD20 |
| 5DIAS!F21 | 0 | >= | 0 E21 >= G21 |
| 5DIAS!K21 | 0 | >= | -100 J21 >= L21 |
| 5DIAS!M21 | 1200 | <= | 100 H21 <= N21 |
| 5DIAS!S21 | 450,6625 | <= | 0 R21 <= T21 |
| 5DIAS!V21 | 1374,563 | <= | 0 U21 <= W21 |
| 5DIAS!X21 | 12225,44 | <= | 0 W21 <= Y21 |
| 5DIAS!AA21 | 3298,31 | <= | 0 Z21 <= AB21 |
| 5DIAS!AC21 | 3901,69 | <= | 0 AB21 <= AD21 |
| 5DIAS!F22 | 0 | >= | 0 E22 >= G22 |
| 5DIAS!M22 | 0 | <= | 100 H22 <= N22 |
| 5DIAS!S22 | 339,625 | <= | 0 R22 <= T22 |
| 5DIAS!V22 | 899,5625 | <= | 0 U22 <= W22 |
| 5DIAS!X22 | 12700,44 | <= | 0 W22 <= Y22 |
| 5DIAS!AA22 | 3210,022 | <= | 0 Z22 <= AB22 |
| 5DIAS!AC22 | 3989,978 | <= | 0 AB22 <= AD22 |
| 5DIAS!F23 | 0 | >= | 0 E23 >= G23 |
| 5DIAS!M23 | 0 | <= | 100 H23 <= N23 |
| 5DIAS!S23 | 228,5875 | <= | 0 R23 <= T23 |
| 5DIAS!V23 | 424,5625 | <= | 0 U23 <= W23 |
| 5DIAS!X23 | 13175,44 | <= | 0 W23 <= Y23 |
| 5DIAS!AA23 | 3121,735 | <= | 0 Z23 <= AB23 |
| 5DIAS!AC23 | 4078,265 | <= | 0 AB23 <= AD23 |
| 5DIAS!F24 | 0 | >= | 0 E24 >= G24 |
| 5DIAS!K24 | 0 | >= | -100 J24 >= L24 |
| 5DIAS!M24 | 1200 | <= | 100 H24 <= N24 |
| 5DIAS!S24 | 117,55 | <= | 0 R24 <= T24 |
| 5DIAS!V24 | 949,5625 | <= | 0 U24 <= W24 |
| 5DIAS!X24 | 12650,44 | <= | 0 W24 <= Y24 |
| 5DIAS!AA24 | 3233,448 | <= | 0 Z24 <= AB24 |
| 5DIAS!AC24 | 3966,552 | <= | 0 AB24 <= AD24 |
| 5DIAS!F25 | 0 | >= | 0 E25 >= G25 |
| 5DIAS!K25 | 0 | >= | -100 J25 >= L25 |
| 5DIAS!M25 | 1200 | <= | 100 H25 <= N25 |
| 5DIAS!S25 | 6,5125 | <= | 0 R25 <= T25 |
| 5DIAS!V25 | 1474,563 | <= | 0 U25 <= W25 |
| 5DIAS!X25 | 12125,44 | <= | 0 W25 <= Y25 |
| 5DIAS!AA25 | 3345,16 | <= | 0 Z25 <= AB25 |
| 5DIAS!AC25 | 3854,84 | <= | 0 AB25 <= AD25 |
| 5DIAS!D32 | 2491,79 | <= | -1 C32 <= E32 |
| 5DIAS!F32 | 3208,21 | <= | 0 E32 <= G32 |