

## DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO MATEMÁTICO PARA A PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ÓLEOS COMBUSTÍVEIS

Aluno: Ivan Campello Lopes  
Orientador: Silvio Hamacher

### Introdução

A indústria petroquímica vem sofrendo grandes modificações a medida que o mundo vai evoluindo. A globalização, traduzida em mercados internacionais e numa crescente competição entre eles, força tais indústrias a se adequarem a uma nova ordem na economia mundial: a busca pelo menor preço e melhor qualidade possíveis para superar a concorrência.

As alternativas para atingir tal objetivo são inúmeras, entretanto, há de se destacar uma que tem apresentado excelentes resultados ao longo do tempo, em nível tanto operacional quanto econômico: a Programação da Produção (*scheduling*).

Problemas práticos de programação da produção são numerosos e variados. Muitos deles partilham duas características importantes: são difíceis de resolver e quando boas soluções são encontradas elas trazem benefícios altamente tangíveis. Em sua forma mais geral, um problema de *scheduling* deseja conhecer o seguinte: dado um conjunto de atividades ou tarefas, uma medida de desempenho, qual é o melhor caminho, ou seja, qual o melhor seqüenciamento de tais tarefas para determinar os recursos para as atividades, sobre períodos de tempo, de tal maneira que o desempenho da solução em relação a um ou mais objetivos seja otimizado. Tais objetivos, obviamente, são definidos pelo programador, sempre visando melhorar uma característica da produção, como por exemplo, reduzir os custos ou um melhor atendimento a demanda.

A programação da produção é um problema complexo, que envolve uma série de dificuldades a serem superadas. Por exemplo, ao tratar de períodos de tempo, esbarra-se no problema de como representá-los para que fiquem de acordo com a modelagem matemática utilizada, ou ainda pode-se citar a dificuldade em lidar com um grande número de variáveis inteiras, ou que pode gerar erros nos cálculos que serão feitos.

Até hoje, foram desenvolvidos diferentes metodologias que auxiliam a programação da produção. A Programação Matemática tem se mostrado de grande valor no planejamento do *scheduling* das refinarias. Segundo *Sahdev et al, 2004*, a utilização da programação linear nos sistemas de refino pode gerar um aumento de 15 a 20 cents por barril de produto, o que representa um lucro de mais de 40 mil dólares por dia numa refinaria.

Contudo, tal técnica apresenta certas limitações quando aplicado a reais problemas de *scheduling* de uma refinaria, requerendo do modelador habilidade no que se refere a representação do problema de forma satisfatória.

A modelagem matemática será usada neste projeto de iniciação científica para buscar os melhores resultados possíveis para os problemas de *scheduling* da refinaria Henrique Lage (REVAP). Para isso, será necessário um estudo da planta de produção de óleos combustíveis da refinaria a fim de levantar os dados necessários para que a metodologia desenvolvida seja capaz de auxiliar as decisões do programador.

### Objetivos

O objetivo deste projeto é levantar, mostrar e analisar os resultados da utilização da modelagem matemática como ferramenta para a definição da programação da produção da REVAP, seguindo os objetivos determinados e obedecendo a certas restrições necessárias para que os resultados sejam mais próximos da realidade.

### Apresentação do Problema

A grande questão abordada neste projeto é a da otimização da programação da produção de óleo combustível e asfalto na refinaria REVAP.

Essa refinaria apresenta uma capacidade total de, aproximadamente, 1.000.000 m<sup>3</sup>/mês e sua planta produz 180.000 m<sup>3</sup>/mês de óleo combustível e 40.000 m<sup>3</sup>/mês de asfálticos. A refinaria recebe óleos crus e produtos intermediários através de oleodutos e despacha a maior parte de sua produção via oleodutos. Apesar tal problema já ter sido resolvido em *Joly et al. (2002)* e *Pinto et al. (2000)* utilizando programação matemática, algumas características importantes do problema não foram levadas em consideração na abordagem de tais autores. Neste trabalho, propomos um modelo matemático que incorpora tais aspectos formulando assim, uma representação mais realista para o problema da REVAP.

A planta da refinaria é composta de um misturador (mixer), tanques de armazenamento de produtos e diluentes (que no caso serão os diferentes tipos de óleo e asfalto), linhas de transmissão e sistemas de escoamento de produtos os pontos de demanda. Estas unidades, que operam em regime permanente, sem tempo de setup e com restrição de recursos, é que são responsáveis pela divisão dos asfaltos e óleos combustíveis na REVAP.

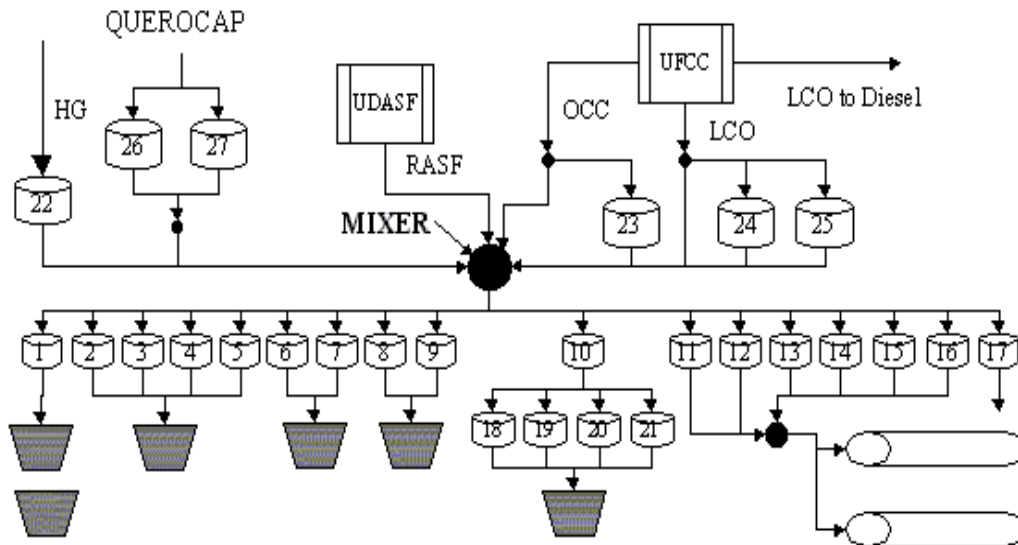


Figura 1 – Esquema de produção de óleo combustível e asfalto na REVAP

Ao longo do horizonte de tempo a ser programado, resíduo asfáltico (RASf) é continuamente produzido por uma unidade de desasfaltação. Este RASf consiste da matéria-prima principal para a produção dos óleos combustíveis e asfaltos que se dá através de sua diluição. O RASf pode ser misturado com dois tipos distintos de diluentes – óleo decantado (OCC) ou Óleo Leve (LCO) – para produzir quatro tipos de óleos combustíveis (FO - OC-1, OC-2, OC-3 e OC-BUNKER) e dois tipos de óleos combustíveis ultraviscosos (OC-7 e OC-9). O RASf ainda pode ser diluído com Gasóleo para produzir asfaltos (ASP - CAP-07, CAP-20). Diversas restrições são inerentes ao problema:

- Nenhum tanque pode ser carregado e descarregado simultaneamente;
- A produção da planta deve ser contínua, pois a alimentação de RASf no mixer é constante;
- Existem limites mínimos de máximos de capacidade para os tanques de produtos intermediários e de produtos finais por causa de uma particularidade dos tanques que utilizam uma tecnologia de teto flutuante, que reduz as perdas materiais por evaporação. Existem diversas regras de produção que devem ser respeitadas.
- Como a qualidade de um óleo é medida pela sua viscosidade, tal característica deve ser respeitada de forma a manter um padrão de qualidade dos produtos.
- O atendimento a demanda deve ser programado, ou seja, baseado no estudo feito anteriormente.

Como já foi dito anteriormente, a programação da produção precisa de objetivos claros. Este projeto visa apresentar os melhores resultados possíveis para duas metas a serem atingidas:

- Atender completamente a demanda.
- Minimizar o número de trocas operacionais, isto é, maximizar o tamanho do lote de produtos. Para que fique claro, quando se deseja colocar algum produto no misturador, é necessário que este esteja limpo e esse processo possui custos elevados de tempo e financeiros.

### Revisão Bibliográfica:

Para definir a metodologia de solução para problemas de *scheduling* que se adequaria melhor às pretensões do projeto foi realizado um estudo sobre o que já foi feito de interessante nessa área.

Historicamente, a abordagem do planejamento e programação de produção em refino foi baseada em modelos de programação matemática não linear misto (MINLP), que são aplicadas técnicas de aproximação linear e decomposição, devido ao seu nível de complexidade, e convertidos em programação linear inteira mista (MILP).

*Blazewicz et al. (1996)* descrevem em seu trabalho como o tradicional método de investigação operacional pode ser aplicados para a solução dos problemas de planificação. *Göthe-Lundgren et al. (2002)* mostram como MILP pode ser aplicado no contexto específico da refinaria. *Pinto et al. (2000)* também desenvolvem uma abordagem baseada em MILP, apresentando algumas técnicas de linearização capazes de lidar com as restrições sobre a qualidade do produto, de uma natureza altamente não linear. Mais recentemente, *Karuppiah et al. (2007)* propôs um algoritmo no sentido de resolver o MILP de forma eficiente utilizando flexibilização não linear. *Joly et al. (2002)* também apresentam uma forma de MILP de planejamento e programação de produção, destacando o fato de que a otimização individual das unidades de produção não garante a otimização do desempenho global.

O modelo de otimização formulado para o problema de programação da produção considera o gerenciamento de estoques de intermediários associado aos seus regimes produtivos, bem como as operações de mistura necessárias para a obtenção de produtos finais, o gerenciamento dos estoques destes últimos e ainda, o gerenciamento da etapa de distribuição dos produtos que segue como função da demanda prevista nos mercados atendidos pela refinaria em questão.

O objetivo de tal modelo é obter a programação da produção de óleos combustíveis de forma a minimizar o número de trocas operacionais realizadas na planta, considerando as restrições relacionadas a planta em si e suas regras operacionais bem como a de completo atendimento a demanda.

### O Modelo Matemático

Nesta seção serão apresentadas as entidades e equações que compõem o modelo matemático desenvolvido para o problema em questão.

#### Índices e Conjuntos

Conjunto de Diluentes ( $d$ )	$d \in D$
Conjunto de Produtos ( $p$ )	$p \in P$
Conjunto de Tanques ( $t$ )	$t \in T$
Tanques de Diluentes – subconjunto de Tanques ( $dt$ )	$dt \in DT \subset T$
Tanques de Produtos – subconjunto de Tanques ( $pt$ )	$pt \in PT \subset T$
Tanque de Produto que armazena determinado Produto – subconjunto de Tanques de Produtos ( $ptp$ )	$ptp \in PTp \subset PT$
Tanques de Diluentes que armazenam um determinado Diluente – subconjunto de Tanques de Diluentes ( $dt_d$ )	$dt_d \in DT_d \subset DT$
Tanques de Diluentes que armazenam LCO – subconjunto de Tanques de Diluentes que armazenam um determinado Diluente ( $dt_{LCO}$ )	$dt_{LCO} \in DTLCO \subset DT_d$
Tanques de diluentes que armazenam OCC – subconjunto de Tanques de Diluentes que armazenam um determinado Diluente ( $dt_{OCC}$ )	$dt_{OCC} \in DTOCC \subset DT$

Formatados: Marcadores e numeração

Tanques de diluentes que armazenam HG – subconjunto Tanques de Diluentes que armazenam um determinado Diluente ( $dt_{HG}$ )  $dt_{HG} \in DTHG \subset DT$

Conjunto de períodos de tempo  $\{n \mid n = 1, \dots, NT\}$   $N$

**Parâmetros**

Volume inicial nos tanques  $IV_t$

Volume mínimo dos tanques  $\underline{IV}_t$

Volume máximo dos tanques  $\overline{IV}_t$

Fluxo mínimo de produto no mixer  $\underline{MTF}$

Fluxo máximo de produto no mixer  $\overline{MTF}$

Viscosidade do Diluente  $VISCD_d$

Viscosidade do Produto  $VISCP_p$

Demanda de Produto  $PD_p$

Demanda interna de RASF  $RASFD_n$

Fluxo Contínuo de RASF  $RASFF$

Fluxo Contínuo de Diluentes  $DF_d$

Capacidade das Linhas de Diluentes  $DFLC$

Capacidade das Linhas de Produto  $PFLC$

Penalização de não-atendimento à demanda  $\alpha$

Viscosidade do RASF  $RASFV$

**Variáveis**

Fluxo Tanque de Diluente → Mixer  $DTMF_{dt,n}$

Fluxo Planta → Tanque de Diluente  $PDTF_{dt,n}$

Fluxo Mixer → Tanque de Produto  $MPTF_{pt,n}$

Fluxo Tanque de Produto → Ponto de Demanda  $PTDF_{t,n}$

Volume do Tanque de Diluente  $DTV_{dt,n}$

Volume do Tanque de Produto  $PTV_{pt,n}$

Fluxo de RASF para o mixer  $MRASFF_n$

← Formatos: Marcadores e numeração

← Formatos: Marcadores e numeração

Fluxo de RASF para o ROR	$RRASFF_n$
Demanda não atendida	$UD_p$
(Auxiliar) Volume do Tanque de Produtos	$LPTV_p$
(Auxiliar) Fluxo Tanque de Diluente → Mixer	$LDTMF_{pt,n}$
(Auxiliar) Fluxo Mixer → Tanque de Produto	$LPTMF_{pt,n}$
(Auxiliar) Fluxo Tanque de Produto → Ponto de Demanda	$LPTDF_{pt,n}$

### Função-objetivo

A função objetivo do modelo proposto consiste na minimização da demanda não atendida, do número e magnitude das alterações dos fluxos de produtos que sai do mixer, uma vez que se é sabido que tais trocas são extremamente custosas para a operação da planta, e dos níveis médio de estoque nos tanques de produtos.

$$\alpha \sum_p \sum_n UD_{p,n} + \beta \sum_{pt} \sum_n MMPTF_{pt,n} + \gamma \sum_{pt} \sum_n PTV_{pt,n} \quad (1)$$

### Restrições operacionais

Nesta seção serão exibidas as restrições do problema referentes a características operacionais da planta.

A restrição (2) garante o atendimento à demanda, quando possível. A variável de folga  $UD_{p,n}$  possui o intuito de acumular a demanda não-atendida, que será penalizada na função objetivo.

$$\sum_n \left( \sum_{ptp} (PTDF_{pt,n}) + UD_{p,n} \right) = PD_{p,n} \quad \forall p \in P, \forall ptp \in PT \subset T, \forall n \in N \quad (2)$$

Por razões operacionais, não é permitido que um tanque de produtos realize operações de carregamento e descarregamento simultaneamente, conforme estabelece a restrição (3).

$$UPT_{pt,n} + LPT_{pt,n} = 1 \quad \forall pt \in PT, \forall n \in N \quad (3)$$

Com relação à expedição de produtos, a mesma deve se dar por somente um dos tanques que contenha determinado produto, também por razões de segurança de operação. A restrição (4) garante que tal condição seja atendida.

$$\sum_{pt_p} UPT_{pt,n} \leq 1 \quad \forall p \in P, \forall n \in N \quad (4)$$

As mesmas restrições de segurança se aplicam as linhas que se conectam ao mixer; somente uma das linhas que conectam os tanques de diluentes ao mixer e uma que conecta o mixer ao tanque de produtos pode ser utilizada para escoamento de matéria-prima e produto em um mesmo intervalo de tempo. As restrições (5) e (6) garantem o cumprimento destas condições.

$$\sum_{pt} LPT_{pt,n} \leq 1 \quad \forall n \in N \quad (5)$$

$$\sum_{dt} UDT_{dt,n} \leq 1 \quad \forall n \in N \quad (6)$$

O fluxo de RASF oriundo da destilação a vácuo pode ter dois destinos: ser alocado ao mixer ou ser destinado para o ROR (*Refinery Oil Ring*) para ser consumido internamente. A restrição (7) subdivide o fluxo contínuo para os dois destinos do fluxo, enquanto a restrição (8) garante o atendimento da demanda interna ao longo do horizonte de planeamento.

$$RASFF = MRASFF_n + RRASFF_n \quad \forall n \in N \quad (7)$$

$$RRASFF_n = RASFD_n \quad \forall n \in N \quad (8)$$

As linhas de transmissão de diluentes e de produtos possuem capacidades finitas de escoamento. As restrições (9) - (11) garantem que tais capacidades sejam respeitadas. Cabe observar que são estas as restrições responsáveis por permitir que haja carregamento/descarregamento de diluentes/produtos somente se as variáveis  $UDT_{dt,n}$ ,  $LPT_{pt,n}$  ou  $UPT_{pt,n}$  permitirem tal atividade.

$$MPTF_{pt,n} \leq LPT_{pt,n} PFLC \quad \forall pt \in PT \subset T, \forall n \in N \quad (9)$$

$$PTDF_{pt,n} \leq UPT_{pt,n} PFLC \quad \forall pt \in PT \subset T, \forall n \in N \quad (10)$$

$$DTMF_{dt,n} \leq UDT_{dt,n} DFLC \quad \forall dt \in DT \subset T, \forall n \in N \quad (11)$$

O setor de produção de óleos combustíveis recebe continuamente fluxos de diluentes oriundos de outras seções da planta que devem ser direcionados para seus respectivos tanques de armazenamento. Para aqueles diluentes que possuem mais de um tanque de armazenamento, cabe ao modelo decidir o montante destinado a cada tanque em cada período. A restrição (12) define o funcionamento deste recebimento de diluentes. Diferente dos tanques de produtos, não existe restrições quanto carregamento e descarregamento simultâneo destes tanques.

$$\sum_{dt_d} PDTF_{dt,n} = DCF_d \quad \forall dt_d \in DT \subset T, \forall n \in N \quad (12)$$

Cada produto produzido na planta possui um diluente específico a ser utilizado. As restrições 13, 14 e 15 garantem que o diluente correto seja utilizado para a produção de um determinado produto.

$$\sum_{dt_{LCO}} UDT_{dt,n} \leq XLCO_n \leq \sum_{pt_{VVO}} LPT_{pt,n} \quad \forall n \in N \quad (13)$$

$$\sum_{dt_{OCC}} UDT_{dt,n} \leq XOCC_n \leq \sum_{pt_{OC}} LPT_{pt,n} \quad \forall n \in N \quad (14)$$

$$\sum_{dt_{HG}} UDT_{dt,n} \leq XHG_n \leq \sum_{pt_{ASPH}} LPT_{pt,n} \quad \forall n \in N \quad (15)$$

Para cada período do horizonte de planeamento é preciso que seja garantido o balanço volumétrico nos tanques de diluentes e de produtos. As restrições (16) e (18) asseguram a manutenção deste balanço. As restrições (17) e (19) vinculam o volume do tanque quando  $n=0$  com o volume inicial do mesmo. Paralelamente a isso, os limites físicos de armazenagem dos tanques devem ser respeitadas. As restrições (18) e (21) estabelecem estas condições para os tanques de diluentes e de produtos respectivamente.

$$DTV_{dt,n} = DTV_{dt,n-1} + PDLT_{dt,n} - DTMF_{dt,n} \quad \forall dt \in DT \subset T, \forall n \in N \quad (16)$$

$$DTV_{dt,0} = IV_{dt} \quad \forall dt \in DT \subset T \quad (17)$$

$$\underline{DTV}_{dt} \leq DTV_{dt,n} \leq \overline{DTV}_{dt} \quad \forall dt \in DT \subset T, \forall n \in N \quad (18)$$

$$PTV_{pt,n} = PTV_{pt,n-1} + MPTF_{pt,n} - PTDF_{pt,n} \quad \forall pt \in PT \subset T, \forall n \in N \quad (19)$$

$$PTV_{pt,0} = IV_{pt} \quad \forall pt \in PT \subset T \quad (20)$$

$$\underline{PTV}_{pt} \leq PTV_{pt,n} \leq \overline{PTV}_{pt} \quad \forall pt \in PT \subset T, \forall n \in N \quad (21)$$

O mixer da seção de produção de óleos combustíveis deve operar em regime contínuo, sujeito a capacidade máxima e um fluxo mínimo de produtos. As restrições (22) e (23) definem esta faixa de operação do mesmo.

$$MTF_n = \sum_{pt} MPTF_{pt,n} \quad \forall n \in N \quad (22)$$

$$\underline{MTF} \leq MTF_n \leq \overline{MTF} \quad \forall n \in N \quad (23)$$

#### Restrições auxiliares de qualidade de produtos

A analogia entre as propriedades composição e viscosidade assumida para esta modelagem proposta permite a eliminação da não-linearidade e da não-convexidade inerentes as restrições de especificação de qualidade dos produtos, o que, de uma forma geral, representam fortes obstáculos a adoção de uma abordagem baseada em programação matemática (Lee et al, 1996). Nesta seção serão apresentadas as restrições adicionais utilizadas para a representação da consideração da qualidade de viscosidade dos produtos.

As restrições (24)-(27) definem os termos auxiliares a serem utilizados nos balanços de viscosidade dos produtos. São elas:

$$LPTV_{p|p,n} = PTV_{p|p,n} VISCP_p \quad \forall p|p \in PT \subset T, \forall n \in N \quad (24)$$

$$LDTMF_{d|d,n} \leq DTMF_{d|d,n} VISCD_d \quad \forall d|d \in DT \subset T, \forall n \in N \quad (25)$$

$$LMPTF_{p|p,n} \leq MPTF_{p|p,n} VISCP_p \quad \forall p|p \in PT \subset T, \forall n \in N \quad (26)$$

$$LPTDF_{p|p,n} \leq PTDF_{p|p,n} VISCP_p \quad \forall p|p \in PT \subset T, \forall n \in N \quad (27)$$

Uma vez definidas as variáveis auxiliares o balanço de viscosidade no mixer pode ser escrito conforme a restrição (28),

$$\sum_{dt} LDTMF_{dt,n} = \sum_{pt} LMPTF_{pt,n} + MRASFF_n RASFV \quad \forall n \in N \quad (28)$$

Outro balanço que deve ser feito quanto à viscosidade dos produtos refere-se ao balanço nos tanques de produtos finais. A restrição (29) define este balanço.

$$LPTV_{pt,n} = LPTV_{pt,n-1} + LMPTF_{pt,n} - LPTDF_{pt,n} \quad \forall pt \in PT \subset T, \forall n \in N \quad (29)$$

#### Restrições auxiliares de módulo dos fluxos

Um dos objetivos neste modelo proposto é minimizar o número e magnitude das alterações dos fluxos de produtos, pois é desejável que a programação da produção se altere o mínimo possível ao longo do tempo. Para tal, se faz necessário a penalização do módulo da variação dos fluxos de saída, tanto do mixer quanto dos tanques de produtos. É proposta uma técnica de linearização da função módulo, inserindo no modelo as variáveis auxiliares  $MMPTF_{pt,n}$  e  $MPTDF_{pt,n}$  que representam, respectivamente, os módulos das variações nos fluxos de saída do mixer (em direção aos tanques de produtos) e dos fluxos de saída dos tanques de produto (em direção aos pontos de demanda) respectivamente. A restrição (30) garante tal representação.

$$-MMPTF_{pt,n} \leq MPTF_{pt,n} - MPTF_{pt,n-1} \leq MMPTF_{pt,n} \quad \forall pt \in PT, \forall n \in N \mid n > 1 \quad (30)$$

**Resultados**

Nesta seção serão discutidos os resultados obtidos pelo modelo utilizando GA e o modelo de programação matemática para o problema em questão.

**Dados de Entrada**

Os dados utilizados para o teste da modelagem são baseados numa instância real da refinaria em questão. A tabela 3 apresenta os dados referentes aos fluxos de matéria-prima.

Matéria-prima	HG	LCO	OCC	RASF
Vazão das unidades de produção (m³/Hora)	25	32	60	150
Vazão máxima dos tanques de diluentes (m³/Hora)	200	200	200	—

**Tabela 1 – Vazão das Matérias-primas**

O RASF flui continuamente, a uma vazão de 150 m³/hora, enquanto que os fluxos de diluente podem ter 2 destinos: o mixer, para serem misturados com o RASF, ou para os tanques de diluentes.

A Tabela 2 apresenta o volume inicial (Initial Vol.) dos tanques considerados no estudo, que corresponde a 35 % do lastro máximo de cada tanque. A tabela também apresenta os limites mínimo e máximo de operação para da um dos tanques. (Min. Vol. e Max. Vol. respectivamente).

Tank	TK-43301	TK-43302	TK-43303	TK-43304	TK-43305	TK-43306	TK-44108	TK-44109	TK-44110	TK-44111	TK-44112	TK-44113	TK-44114	TK-44115	TK-44116
Product	OC-1	OC-1	OC-2	OC-2	OC-Bunker	OC-Bunker	CAP-07	CAP-20	CAP-20	OC-9	OC-9	OC-7	OC-7	CAP-20	CAP-20
Initial Vol.	20000	2364	15000	15000	20000	2364	3000	3500	320	3500	350	3500	350	3500	350
Min. Vol.	2364	2364	2364	2364	2364	2364	320	320	320	320	350	350	350	350	350
Max. Vol.	32623	32623	32623	32623	32623	32623	4500	4500	4500	4500	4775	4775	4775	4775	4775

**Tabela 2 - Volumes Inicial, Máximo e Mínimo para cada tanque e os produtos que cada um estoca**

Os dados de demanda estão presentes na Tabela 3. A demanda é representada pelos volumes de cada produto, que devem ser produzidos de acordo com uma hora de início e uma hora de fim de produção. Estes volumes são determinados por contratos de venda pré-determinados, portanto é tarefa dos modelos atender a esta demanda.

PRODUTO	VOLUME (m³)	INICIO (h)	FIM (h)	PRODUTO	VOLUME (m³)	INICIO (h)	FIM (h)
CAP20	1190	56	66	OC9	400	56	66
CAP20	1190	80	90	OC9	400	80	90
CAP20	1190	104	114	OC9	400	104	114
CAP20	1190	128	138	OC9	400	128	138
CAP20	1190	152	162	OC9	400	152	162
CAP07	100	54	64	OC3	4000	54	63
CAP07	100	78	88	OC3	1800	68	72
CAP07	100	102	112	OC3	1200	164.47	167.13
CAP07	100	126	136	OC2	800	116.7	118.7
CAP07	100	150	160	OC1	7700	100	159
OC7	600	56	66	OC1	800	164.7	166.46
OC7	600	80	90	OC-BUNKER	4000	40	47.55
OC7	600	104	114	OC-BUNKER	4000	70	77.55
OC7	600	128	138	OC-BUNKER	4000	120	127.55
OC7	600	152	162	OC-BUNKER	5000	158	167.41

**Tabela 3 – Scheduling da demanda de produtos**

O horizonte de programação considerado é de 7 dias (tratados como 168 horas). Nestes testes, considera-se o início do horizonte no sábado à 0h.

A tabela 4 apresenta o porte do modelo matemático gerado. Para o conjunto de dados considerado, não foi possível encontrar o valor ótimo considerando como critério de parada um tempo de execução de 1h.

Porte do Modelo	
Variáveis Contínuas	11089
Variáveis Inteiras	3108

Restrições	16183
<b>Descrição da solução obtida</b>	
GAP	1,35%
Total de Iterações	2799350
Tempo de Execução	3600s (1h)

**Tabela 4 - Características do modelo matemático e da solução obtida**

A própria viabilidade da solução obtida já implica que toda a produção fora devidamente alocada aos tanques, pois esta é uma das restrições do MILP. Foi observado também que o modelo é capaz de fornecer uma solução onde toda a demanda é atendida. Com relação ao número de trocas, ao todo foram realizadas 41 trocas operacionais ao longo do horizonte de planejamento.

### Conclusão

Neste trabalho foi estudado o problema da programação da produção (*scheduling*) de óleos combustíveis. Para tal foi desenvolvido um modelo matemático que integra o tamanho de lote e a seqüência da programação da produção com múltiplos objetivos de uma planta multiproduto, com dois estágios de máquinas em série – um mixer e um conjunto de tanques - com restrição de recursos e operando em regime contínuo.

A abordagem apóia-se em programação matemática inteira-mista. O modelo proposto também busca minimizar o nível de demanda não atendida e o número de trocas operacionais, além de buscar minimizar o estoque total de produtos ao final do horizonte de planejamento. As restrições deste problema reportam à características operacionais da planta, principalmente no que tange ao fluxo de produto ao longo das linhas da planta.

Para testar a abordagem consideradas neste trabalho, uma instância real do problema foi utilizada. Para o conjunto de dados em questão, pôde-se observar que o desempenho do modelo matemático se mostrou satisfatório no que tange ao objetivo de minimização do número de trocas e no atendimento dos objetivos de minimização do nível de demanda não atendida e de alocação da produção nos tanques.

### Referências

- Sahdev, M. K., Jain, K. K., Srivastava, P. (2004). Petroleum Refinery Planning and Optimization Using Linear Programming: Cheresources.
- Joly, M., Moro, L., Pinto, J. (2002). Planning and scheduling for petroleum refineries using mathematical programming. Brazilian Journal of Chemical Engineering 19: 207-228.
- Pinto, J., Joly, M., Moro, L. (2000). Planning and scheduling models for refinery operations. Computers and Chemical Engineering 24(9-10): 2259-2276.
- Blazewicz, J., Domschke, W., Pesch, E. (1996). The job shop scheduling problem: Conventional and new solution techniques. European Journal of Operational Research 93(1): 1-33.
- Göthe-Lundgren, M., Lundgren, J., Pearson, J., i Linköping, U., Mathematics, D. o. (2002). An Optimization Model for Refinery Production Scheduling. International Journal of Production Economics 78(3): 255-270.
- Karuppiah, R., Furman, K., Grossmann, I. (2007). Global optimization for scheduling refinery crude oil operations. Computers and Chemical Engineering.
- Lee, I., Sikora, R., Shaw, M. (1997). A genetic algorithm-based approach to flexible flow-line scheduling with variable lot sizes. Systems, Man and Cybernetics, Part B, IEEE Transactions on 27(1): 36-54.

