

OTIMIZAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO DO ABASTECIMENTO DE CRUS EM REFINARIAS DE PETRÓLEO

V. V. Viero^{1,2} e S. M. S. Neiro^{1,3}

¹ Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Química
E-mail para contato: ²vini.vidoto@gmail.com ; ³sergioneiro@feq.ufu.br

RESUMO – O objetivo do presente trabalho é desenvolver um modelo de otimização que contemple o problema de abastecimento de crus às refinarias. Para isto foi utilizada uma adaptação do modelo proposto por *Hu e Zhu (2007)* e foram obtidos bons resultados computacionais, além de ter sido possível modelar demandas operacionais essenciais.

1. INTRODUÇÃO

Vive-se em uma era onde o petróleo é uma das mais importantes *commodities* de um país, levando a diversas tentativas de melhorarmos os lucros obtidos com a comercialização deste produto. Uma destas tentativas é o estudo da programação da produção das refinarias de petróleo, mas por gerarem problemas de grande dificuldade de resolução ao observar todo o escopo de uma refinaria, dividem-se as atividades da mesma em três partes: descarregamento e mistura de óleos crus, produção de derivados e mistura e envio de produtos, como proposto por *Jia e Ierapetritou (2003)*. Desses três problemas o mais amplamente estudado, e sobre o qual será tratado neste artigo, é a programação da produção do descarregamento e mistura de crus, pois é uma fase crítica no processo de refino, já que quando otimizado pode gerar grande economia, como reportado em *Chen, Grossmann e Zheng (2012)*.

A programação da produção é um processo de tomada de decisões de grande importância nas indústrias do segundo e terceiro setores da economia (*Pinedo e Chao, 1999*). A aplicação de otimização ao problema de programação da produção visa obter uma solução que determine a utilização dos recursos disponíveis atendendo às exigências de demanda e atendendo às limitações de capacidade, qualidade, entre outras. (*Ierapetritou e Floudas, 1998*). Em *Chen, Grossmann e Zheng (2012)* foram revisados 3 modelos considerados *estado da arte* e um dos modelos mais promissores é o modelo *Unit Slot*. Portanto, neste trabalho, adotou-se como ponto inicial este modelo proposto por *Hu e Zhu (2007)*, que é um modelo de tempo contínuo e cujo foco das equações é nas unidades.

2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O problema resolvido neste trabalho consiste em uma refinaria fictícia, ilustrada na Figura 1, que recebe 3 volumes de óleo cru por um oleoduto com 6 tanques de

armazenamento e mistura e 2 unidades de destilação (UDCs) e 12 tipos de petróleo cru e nosso objetivo é maximizar o lucro da mesma.

O petróleo chega à refinaria através do oleoduto na forma de parcelas (volumes) de petróleo cru que são descarregadas para os tanques. A mistura de cada tanque é alimentada às unidades de destilação. Até dois tanques podem alimentar uma mesma unidade de destilação ao mesmo tempo, da mesma forma que um tanque pode alimentar até duas UDCs. A imposição de qualidade é feita após a válvula onde há a mistura da alimentação dos tanques associados a uma carga. As decisões do problema de otimização consistem em definir para quais tanques as parcelas serão descarregadas, o gerenciamento dos tipos de cru em cada tanque, quais tanques serão alocados para a alimentação de cada UDC.

3. MODELAGEM MATEMÁTICA

O modelo consiste de uma série de equações de balanço de massa e restrições lógicas envolvendo tempo, qualidade de certas propriedades dos crus, entre outras, como vemos abaixo e a não linearidade vem da Equação 21. Um caso de estudo envolvendo uma refinaria próxima da real foi usado para a construção deste modelo atendendo, suas exigências, mas aqui iremos reportar somente as equações que captam a ideia básica da abordagem *unit slot*.

O problema foi resolvido na plataforma GAMS IDE e foi utilizada uma estratégia de decomposição do problema em dois, para resolvê-lo. Primeiramente foi resolvido como um problema MIP através do método contido no pacote *cplex* da plataforma, ignorando a equação que gera a não linearidade. Então, as variáveis binárias obtidas na primeira parte da resolução foram fixadas e foi resolvido o problema completo, como um MINLP relaxado com o método do pacote *dinopt* da mesma plataforma.

1.1. Nomenclatura

Conjuntos:

i	Conjunto de priority-slots, sendo i0 o primeiro e n o último;
r,r1	Conjuntos de todos os recursos;
c	Conjunto de crus;
k	Conjunto de propriedades;
rp(r)	Conjunto de parcelas;
rt(r)	Conjunto de tanques;
rm(r)	Conjunto de mixers;
rd(r)	Conjunto de unidades de destilação;
in(r,r1)	Recurso r1 que abastece o recurso r (entrada em r);
out(r,r1)	Recurso r que abastece o recurso r1 (saída em r);

Constantes:

H	Horizonte de scheduling (foi utilizado $H = 144$);
TR	Tempo de preparação (foi utilizado $TR = 24$);

Parâmetros:

VTn(r,r1)	Volume mínimo de transferência;
VTx(r,r1)	Volume máximo de transferência;
PP(c,k)	Propriedade de cada tipo de petróleo (acidez, densidade, enxofre);
PPn(k)	Mínimo valor para a qualidade k (acidez = 0,05 e enxofre = 0,05);
PPx(k)	Máximo valor para a qualidade k (acidez = 1,25 e enxofre = 0,767);
G(c)	Margens de contribuição no lucro;
Tarr(r)	Chegada de uma parcela;

Tabela 1 – Dados adicionais dos parâmetros

Petróleo	G(c)	Recurso	Tarr	VTn	VTx
P1	105	Vol1	0	5400	19500
P2	160	Vol2	25	5400	17500
P3	135	Vol3	35	5400	20000
P4	133	TQ1	-	100	30000
P5	149	TQ2	-	100	34000
P6	152	TQ3	-	100	30000
P7	100	TQ4	-	100	33000
P8	143	TQ5	-	100	38000
P9	122	TQ6	-	100	38000
P10	115	MIX1	-	12960	76000
P11	139	MIX2	-	9072	76000
P12	129				

Variáveis:

Ganho	Resultado da função objetivo que maximiza o lucro;
Vt(i,r,r1)	Volume total de óleo transferido entre os recursos no slot i;
Vc(i,r,r1,c)	Volume de crú transferido entre os recursos no slot i;
Lt(i,r)	Volume total acumulado de óleo no tanque no início do slot i;
Lc(i,r,c)	Volume acumulado de crú no tanque no início do slot i;
S(i,r)	Momento inicial da operação de transferência entre recursos no slot i;
E(i,r)	Momento final da operação de transferência entre recursos no slot i;
XT(i,r)	Variável que identifica o recebimento de parcelas no tanque de carga;
Z(i,r)	Variável <i>binaria</i> que indica se há transferência entre recursos no slot i;

1.2. Modelagem

Função Objetivo:

- Função Objetivo que visa maximizar o lucro gerado pela destilação.

$$Ganho = \sum_i \sum_{rd} \sum_{rm \in in(rd,rm)} \sum_c \frac{G(c) * V_c(i,rm,rd,c)}{1000} \quad (1)$$

Restrições lógicas:

- Número máximo de tanques na carga da destilação.

$$\sum_{rt \in in(rm, rt)} Z(i, rt, rm) \leq 2 \quad (2)$$

- Se houver carga de qualquer parcela em um tanque a variável XT deve ser ativada.

$$XT(i, rt) \geq Z(i, rp, rt) \quad (3)$$

- Se não houver carga de qualquer parcela em um tanque a variável XT deve ser nula.

$$XT(i, rt) \leq \sum_{rp \in in(rt, rp)} Z(i, rp, rt) \quad (4)$$

Restrições de tempo:

- O tempo de cada recurso deve ser monotonicamente crescente.

$$S(i, r) \geq E(i-1, r) \quad (5)$$

- O fim de uma operação deve ocorrer depois de seu início.

$$E(i, r) \geq S(i, r) \quad (6)$$

- Relação dos tempos de início entre parcelas e tanques.

$$S(i, rt) \leq S(i, rp) + (H - Tarr(rp)) * (1 - Z(i, rp, rt)) \quad (7)$$

- Relação dos tempos de término entre parcelas e tanques.

$$E(i, rt) \leq E(i, rp) - H * (1 - Z(i, rp, rt)) \quad (8)$$

- Relação dos tempos de início entre tanques e mixers.

$$S(i, rt) \leq S(i, rm) + H * (1 - Z(i, rt, rm)) \quad (9)$$

- Relação dos tempos de término entre tanques e mixers.

$$E(i, rt) \geq E(i, rm) - H * (1 - Z(i, rt, rm)) \quad (10)$$

- Relação dos tempos de início entre mixers e destilação.

$$S(i, rm) = S(i, rd) \quad (11)$$

- Relação dos tempos de término entre mixers e destilação.

$$E(i, rm) = E(i, rd) \quad (12)$$

- Ordem de descarregamento das parcelas.

$$S(i0, rp) \geq E(n, rp-1) \quad (13)$$

- A destilação deve operar continuamente.

$$\sum_i (E(i, rd) - S(i, rd)) = H \quad (14)$$

- O tempo de preparação deve ser respeitado se um tanque receber uma carga.

$$S(i, rt) \geq E(i-1, rt) + TR * (XT(i-1, rt) - XT(i, rt)) \quad (15)$$

Balances de massa:

- Balanço material por cru dos recursos em cada slot de tempo.

$$Lc(i, r, c) = Lc(i-1, r, c) - \sum_{r \in out(r, r1)} Vc(i, r, r1, c) + \sum_{r \in in(r, r1)} Vc(i, r, r1, c) \quad (16)$$

- A soma de todos os tipos de crus deve ser equivalente ao volume total.

$$Lt(i, r) = \sum_c Lc(i, r, c) \quad (17)$$

- A soma da transferência de todos os tipos de crus deve ser equivalente ao volume total transferido.

$$Vt(i, r, r1) = \sum_c Vc(i, r, r1, c) \quad (18)$$

Vazões e limite de capacidade:

- Volume envolvido em uma transferência.

$$VTx(r, r1) * Z(i, r, r1) \leq Vt(i, r, r1) \leq VTx(r, r1) * Z(i, r, r1) \quad (19)$$

Qualidade e eliminação de discrepância na composição: Considere δ com sendo densidade

- Valor máximo imposto para uma propriedade em base mássica.

$$\begin{aligned} PPn(k) * \sum_c Vc(i, rm, rd, c) * \delta &\leq \sum_c Vc(i, rm, rd, c) * PP(c, k) * \delta \\ &\leq PPx(k) * \sum_c Vc(i, rm, rd, c) * \delta \end{aligned} \quad (20)$$

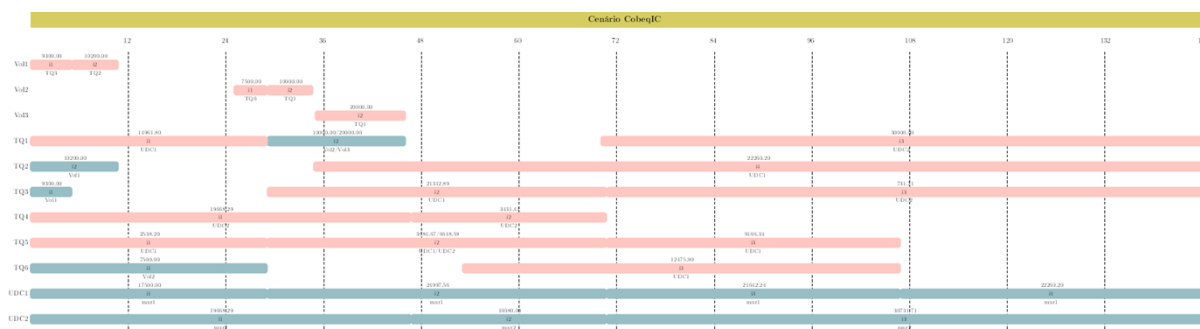
- Eliminação da discrepância de composição.

$$Lc(i, rt, c) * Vt(i, rt, rm) = Lt(i, rt) * Vc(i, rt, rm, c) \quad (21)$$

4. RESULTADOS

É possível observar na Figura 2 que, como esperado, todas as restrições operacionais modeladas foram atendidas, a mais evidente é a de que as destilações devem operar ininterruptamente. Dentro deste cenário conseguimos gerar um lucro de 19103,28 *u.m.*, dentro de um tempo computacional curto, de 1,93 segundos.

Figura 1 – Gráfico de Gantt do abastecimento de cru



5. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que os métodos de otimização da programação da produção podem ajudar as indústrias a obter maior ganho e se utilizando do mínimo de recursos, gerando não somente ganhos financeiros, mas muitas vezes ambientais (como utilização de menos água ou minimização da emissão de poluentes).

Devem-se continuar os estudos na área para gerarmos modelos o mais próximos da realidade o possível, dentro das limitações que a matemática e a capacidade computacional permitirem, pois ela tem capacidade que melhorar muito o consumo além de melhorar os resultados gerados por esse consumo.

6. REFERÊNCIAS

- Chen, X.; Grossmann, I. & Zheng, L. (2012). A comparative study of continuous-time models for scheduling of crude oil operations in inland refineries. *Computers and Chemical Engineering*.
- Hu, Y., & Zhu, Y. (2007). An asynchronous time slotbased continuous time formulation approach for crude oil scheduling. *Computers and Applied Chemistry*(Em Chinês).
- Ierapetritou, M. & Floudas, C. (1998). Effective Continuous-Time Formulation for Short-Term Scheduling. *Industrial Engineering and Chemistry Research*.
- Jia, Z., & Ierapetritou, M. (2003). Mixed-integer linear programming for gasoline blending and distribution scheduling. *Industrial Engineering and Chemistry Research*.
- Pinedo, M. & Chao, X. (1999). Operations scheduling with applications in manufacturing and services. *McGraw Hill*.