

8º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Otimização heurística de propriedades de misturas de óleos brutos

AUTORES:

Rafael Pinheiro Florencio da Silva, Heloísa Lajas Sanches, Fernando Luiz Pellegrini Pessoa

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás - 8º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás - ABPG, no período de 20 a 22 de outubro de 2015, em Curitiba/PR. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 8º PDPETRO.

Otimização heurística de propriedades de misturas de óleos brutos

Abstract

The mixture of crude oils is an operation of interest in the oil industry to transport and process the feedstock. The objective of this paper is to propose a method of obtaining the formulations of sequential oil mixtures from an initial inventory that optimizes the following properties simultaneously: (i) the distillation yield, (ii) the oils compatibility and (iii) the viscosity of the mixture. The formulation of multiple mixtures was made possible by a heuristic approach, resulting in the maximum consumption of poor quality oils and the preservation of best quality oils.

Introdução

A mistura de óleos brutos é uma operação unitária de grande importância no refino do petróleo. Sua composição básica inclui moléculas hidrocarbônicas saturadas, insaturadas e aromáticas, além de compostos cuja química não é completamente conhecida como as resinas e os asfaltenos. Tal composição influencia diretamente nas propriedades dos óleos e de suas misturas, consequentemente (Wauquier, 1995).

Os óleos obtidos de reservatórios diferentes podem apresentar grandes variações de propriedades, sendo necessário equalizar o óleo a ser processado e controlar as características indesejáveis. Hou et al. (2015) propuseram um modelo baseado na maximização do rendimento da destilação da mistura e na minimização do índice de compatibilidade e da viscosidade da mistura.

Os asfaltenos são aromáticos polinucleares com peso molecular superior a 1000 que podem precipitar e acumular ao longo das linhas de transporte de óleo (Wauquier, 1995). Asomaning (2003) introduziu o índice de compatibilidade como a razão entre o teor de asfaltenos e o teor de resinas do óleo, sendo este classificado como compatível quando o índice é menor que 0.35.

Resinas e asfaltenos também influenciam diretamente na viscosidade do óleo. Muitos modelos foram propostos para estimar a viscosidade de uma mistura a partir das viscosidades individuais dos seus componentes (Han et al., 2007). O modelo de Cragoe apresenta grande aplicabilidade na predição da viscosidade de misturas de óleos brutos (Yunping et al., 2010).

O modelo de Hou et al. (2015) foi utilizado como ponto de partida para o estudo da otimização das propriedades da mistura de óleos brutos. Uma extensão do modelo foi proposta no presente trabalho para incorporar restrições físicas mais comumente encontradas em um ambiente industrial. Uma limitação na quantidade de cada óleo bruto disponível foi introduzida para garantir a não ubiquidade da matéria-prima. Uma abordagem heurística de seleção de óleos de maior ou menor qualidade também foi incorporada ao modelo, permitindo a geração de múltiplas misturas otimizadas.

Metodologia

As propriedades dos óleos consideradas neste trabalho foram obtidas em Hou et al. (2015). A Tabela 1 apresenta as seguintes propriedades de seis amostras de óleo bruto (A, B, C, D, E e F) obtidas em Shanbei, China: viscosidade do óleo a 50 °C (η^{50} , em mPa s); composição de saturados, aromáticos, resinas e asfaltenos (w_S , w_A , w_R e w_{AS} , em %, respectivamente); e rendimento total do óleo

na destilação até 350 °C (Y, em %). Um modelo matemático foi proposto por Hou et al. (2015) para o problema de otimização das propriedades das misturas de óleos brutos. Neste trabalho o modelo foi modificado para incorporar um limite de disponibilidade e a possibilidade de realizar múltiplas misturas.

Tabela 1. Propriedades dos óleos brutos

i	Óleo	η^{50}	w_S	w_A	w_R	w_{As}	Y
1	A	12.0	54.47	12.21	29.97	3.35	87.79
2	B	17.9	69.88	0.86	20.43	8.83	90.77
3	C	10.9	65.46	0.67	32.68	1.19	59.93
4	D	2200.0	64.21	0.79	17.08	17.92	71.09
5	E	19.0	62.17	0.81	29.60	7.42	73.14
6	F	21.0	75.15	0.55	18.39	5.91	46.69

Os rendimentos da destilação de cada óleo Y_i , $i = 1, 2, \dots, 6$, a uma temperatura limite de 350 °C encontram-se na Tabela 1. Foi assumido um modelo para o rendimento da mistura dos óleos Y como uma combinação linear dos rendimentos individuais ponderados pela fração mássica x_i do respectivo óleo na mistura.

$$Y = \sum_{i=1}^6 x_i Y_i \quad (1)$$

A viscosidade da mistura foi determinada pelo modelo de Cragoe modificado. Yunping et al. (2010) relatam sua maior precisão em problemas de misturas de óleos. O modelo é dado pelas Equações (2) e (3) a seguir:

$$\eta = k \exp \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^6 x_i L_i} \right) \quad (2)$$

$$L_i = \frac{1}{\ln \eta_i - \ln k} \quad (3)$$

onde η_i é a viscosidade do óleo i a uma dada temperatura e η é a viscosidade da mistura a esta mesma temperatura. A constante $k = 5 \times 10^{-4}$ (mPa s) é um parâmetro de ajuste do modelo de Cragoe.

O teor relativo entre resinas e asfaltenos pode ser usado como uma medida da estabilidade do óleo (Spiecker et al., 2002). Asomaning (2003) propôs um índice de compatibilidade c_o como a razão entre a quantidade de resinas e de asfaltenos tal que uma mistura de óleos é dita compatível quando c_o

≤ 0.35 . Sendo w_i e w_i' as frações mássicas de resinas e de asfaltenos do óleo i , respectivamente, então o índice de compatibilidade de Asomaning é dado por:

$$c_o = \frac{\sum_{i=1}^6 x_i w_i'}{\sum_{i=1}^6 x_i w_i} \quad (4)$$

Hou et al. (2015) utilizaram os modelos de rendimento, viscosidade e estabilidade dados pelas Equações (1), (2), (3) e (4) para a construção do problema de otimização. Duas novas considerações foram incorporadas à função objetivo: um limite de disponibilidade dos óleos brutos básicos e uma seleção prioritária dos óleos para a formulação da mistura.

A seleção dos óleos prioritários foi realizada a partir da análise das propriedades de cada amostra. Foi definido que um óleo bruto é classificado como “pobre” se uma ou mais de suas propriedades não satisfizerem algum limite operacional. No modelo proposto, a única propriedade limitada é o índice de compatibilidade; logo, qualquer óleo cujo índice seja superior a 0.35 deve ser maximizado na mistura final. Do lado oposto, um óleo é dito “rico” se suas propriedades são as mais desejáveis entre todas as amostras, permitindo que este óleo seja processado sem a necessidade de misturá-lo a outros óleos. Assim, um óleo rico deverá ser minimizado na formulação da mistura. O rendimento da destilação foi escolhido como primeiro critério na avaliação do óleo de melhor qualidade, com a viscosidade em segundo e o índice de compatibilidade em terceiro.

A abordagem proposta para a seleção dos óleos é heurística. Quando associada a uma oferta limitada de óleo, a otimização permite a obtenção de múltiplas misturas de óleo com propriedades desejáveis, sempre minimizando o uso dos óleos de melhor qualidade. A otimização heurística proposta neste trabalho tem características comuns ao algoritmo Diagrama de Fontes de Água, método de integração de redes de água proposto por Gomes et al. (2007).

Como as quantidades de óleo bruto disponíveis são limitadas, o problema foi formulado em termos das massas m_i em vez das composições mássicas x_i . Portanto, os termos x_i nas Equações (1) a (4) foram substituídos por:

$$x_i = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^6 m_i} \quad (5)$$

para $i = 1, 2, \dots, 6$.

A disponibilidade do óleo i , D_i , é fornecida ao modelo como um limite superior para a variável m_i correspondente. Esta disponibilidade é atualizada a cada mistura gerada. As massas de óleos pobres e ricos são dadas por $\mathbf{m}^P$ e $\mathbf{m}^R$, respectivamente. A notação vetorial simplifica a representação do modelo, evitando o uso de um somatório.

As dimensões de $\mathbf{m}^P$ e $\mathbf{m}^R$ dependem do número de óleos selecionados na etapa heurística do método. Cada parte da função objetivo ainda foi ponderada por uma constante de penalidade para priorizar a otimização de uma ou mais propriedades da mistura sem desprezar as demais. A Figura 1 mostra o modelo final de otimização.

$\text{minimizar } f(\mathbf{m}) = -C_1 Y(\mathbf{m}) + C_2 c_o(\mathbf{m}) + C_3 \eta(\mathbf{m}) - C_4 \cdot \mathbf{m}^P + C_5 \cdot \mathbf{m}^R$ sujeita a $0 \leq m_i \leq D_i, i = 1, \dots, 6$ $\frac{\sum_{i=1}^6 m_i w_i'}{\sum_{i=1}^6 m_i w_i} \leq 0.35$
--

Figura 1. Modelo de otimização do problema de mistura de óleos

Resultados e Discussão

O algoritmo proposto neste trabalho foi implementado no General Algebraic Modeling System (GAMS) e testado em um estudo de caso: a obtenção de múltiplas misturas ótimas dos óleos de Shanbei da Tabela 1 a partir de um inventário inicial dado pela Tabela 2, com prioridade para o máximo rendimento da destilação das misturas.

Os óleos B e D apresentam uma razão asfaltenos:resinas superior a 0.35, sendo escolhidos como os óleos pobres da primeira mistura. O óleo A é selecionado com o óleo rico, pois tem mais rendimento entre os óleos restantes. Portanto, a função objetivo da primeira mistura deve minimizar a quantidade de óleo A e maximizar as quantidades de óleo B e D.

Tabela 1. Inventário inicial de óleo

i	Óleo	Disponibilidade (kg)
1	A	1000
2	B	150
3	C	300
4	D	500
5	E	330
6	F	120

Definindo $C_1 = 10$ e as demais constantes unitárias para priorizar o rendimento da mistura, a primeira função objetivo é dada por:

$$f(\mathbf{m}) = -10 Y + c_o + \eta - m_2 - m_4 + m_1 \quad (6)$$

A otimização da primeira mistura leva ao consumo total dos óleos B, C e E e ao consumo parcial do óleo D. As amostras A e F não foram utilizadas nesta primeira mistura. Portanto, atualizando a disponibilidade dos óleos para a segunda mistura (Tabela 3) e fazendo uma nova seleção de óleos prioritários, a função objetivo para a segunda mistura é dada a seguir.

$$f(\mathbf{m}) = -10 Y + c_o + \eta - m_4 + m_1 \quad (7)$$

O algoritmo foi seguido até o consumo total do óleo do inventário inicial, resultando em três misturas diferentes. A Tabela 4 mostra a disponibilidade após a segunda mistura e a Tabela 5 resume a formulação das misturas.

Foi observado que cada mistura tem um índice de compatibilidade máximo de 0.35, respeitando o limite operacional estabelecido por Asomaning (2003). Os óleos que não são classificados como ricos ou pobres atuam como agentes diluentes para os óleos pobres, evitando o uso do óleo A, de melhor qualidade, tanto na primeira quanto na segunda mistura.

O baixo rendimento da segunda mistura pode ser visto como um problema operacional. Um modificação possível para o modelo de otimização aqui proposto seria a adição de uma restrição de mínimo rendimento Y_{MIN} , isto é, $Y \geq Y_{\text{MIN}}$.

Tabela 2. Inventário após a primeira mistura de óleos

i	Óleo	Disponibilidade (kg)
1	A	1000
2	B	0
3	C	0
4	D	182.409
5	E	0
6	F	120

Tabela 3. Inventário após a segunda mistura de óleos

i	Óleo	Disponibilidade (kg)
1	A	1000
2	B	0
3	C	0
4	D	177.118
5	E	0
6	F	0

Conclusões

O método de otimização proposto neste trabalho incorpora alguns aspectos mais próximos da realidade ao modelo de Hou et al. (2015), tais como uma disponibilidade limitada de matéria-prima e a possibilidade de gerar múltiplas misturas. A aplicação do algoritmo viabilizou o processamento das seis amostras de óleos de Shanbei, evidenciando a importância da operação de mistura dos óleos em uma unidade industrial.

Novas modificações são possíveis para o modelo aqui proposto. A inclusão de fatores econômicos tais como o custo de bombeamento e o custo da estocagem das misturas pode aperfeiçoar a aplicação do método para casos reais.

Agradecimentos

Ao apoio financeiro da Agência Nacional do Petróleo – ANP – e da Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP – por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor de Petróleo e Gás – PRH-ANP/MCT, em particular ao PRH 13, da Escola de Química - Processamento, Gestão e Meio Ambiente na Indústria do Petróleo e Gás Natural.

Referências Bibliográficas

Asomaning, S. Test methods for determining asphaltene stability in crude oils. *Petroleum Science and Technology*, v. 21, p. 581-590, 2003

Gomes, J.F.S., Queiroz, E.M., Pessoa, F.L.P. Design procedure for water/wastewater minimization: single contaminant. *Journal of Cleaner Production*. v. 15, p. 474-485, 2007.

Han, S., Jiang, W., Zhang, J. Approaches to predict viscosity of crude oil blends. *Journal of Central South University of Technology*, 2007

Hou, J., Li, X., Sui, H. The optimization and prediction of properties for crude oil blending. *Computers and Chemical Engineering*, v. 76, p. 21-26, 2015

Spiecker, P.M., Gawrys, K.L., Trail, C.B., Kilpatrick, P.K. Effects of petroleum resins on asphaltene aggregation and water-in-oil emulsion formation. *Colloids and Surfaces A*, v. 220, p. 9-27 , 2003

Yunping, Z., Xun, L., Yuchun, W. Study progress in viscosity temperature mathematical model of mixed crude oil, oil and gas storage and transportation. *Oil and Gas Storage Transportation*, v. 9, p. 683-686, 2010

Wauquier, J.P. *Petroleum Refining*. Paris: Technip, 1994.