

AValiação DE CORRELAÇÕES DO PARâMETRO DE INTERAÇÃO BINÁRIA DA EQUAÇÃO DE SOAVE-REDLICH-KWONG PARA O CÁLCULO DA PRESSÃO DE BOLHA DE ÓLEOS BRUTOS

Bruna Ferreira Amaral¹; Kaique Vítor Louzada Caires¹; Marcos Miranda Silva Souza²;
Gloria Meyberg Nunes Costa², Silvio Alexandre Beisl Vieira de Melo^{2,3}

¹ Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Química

² Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial

³ Universidade Federal da Bahia, CIENAM, Campus Universitário da Federação/Ondina

E-mail para contato: sabvm@ufba.br

Resumo: A capacidade de interpolação e extrapolação de correlações para o parâmetro de interação binária obtido com três dados experimentais de pressão de bolha em função temperatura é avaliada. A equação de estado empregada é a de Soave-Redlich-Kwong. Para oito óleos da literatura os resultados mostram pequenos erros obtidos na interpolação com este número mínimo de dados experimentais sendo razoáveis também em alguns casos na extrapolação.

Palavras-chave: Pressão de Bolha, Equação de estado, Parâmetro de interação binário

1. Introdução

A modelagem e simulação de reservatórios de petróleo, bem como a operação e projeto de equipamentos de superfície dependem fortemente das propriedades PVT, tais como densidade e pressão de bolha (PB) (Pedersen e Christensen, 2007). A pressão de bolha pode ser obtida através de medidas de laboratório e ser usada para computar outras importantes propriedades PVT, como viscosidade, fator volume de formação do óleo, etc. (Ahmadi *et al.*, 2014). Embora os procedimentos experimentais disponíveis produzam dados confiáveis, dependem de métodos demorados e dispendiosos. Além disso, os testes de laboratório são afetados bastante pela qualidade e quantidade das amostras do fluido coletado. Numerosas técnicas tais como relações empíricas, equações de estado e modelos inteligentes têm sido desenvolvidas para obter valores de PB. Correlações empíricas são desenvolvidas tipicamente para propriedades de fluidos em uma região geográfica específica, ajustando-se dados disponíveis desta região. Portanto, são dependentes das características do conjunto de dados dos óleos utilizados e podem não ser aplicadas a óleos de outras regiões. Além disso, a suposição básica é que PB é uma função da razão gás/óleo dissolvido, gravidade específica do gás, densidade do óleo morto e temperatura. Portanto, são dependentes de um número grande de propriedades que devem ser medidas em laboratório. Estas desvantagens motivam determinar a PB por meio de um método simples e preciso, que requeira um pequeno número de dados experimentais e permita usar a determinação

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

www.conepetro.com.br

da PB em condições diferentes daquelas obtidas experimentalmente. Entre as técnicas utilizadas para a sua determinação com embasamento teórico, destaca-se o uso de equações de estado cúbicas (ES). No entanto, para sua utilização, é necessário o ajuste de seus parâmetros de interação binária. O objetivo do trabalho é realizar a análise da influência da seleção de uma correlação envolvendo o parâmetro de interação binária e a temperatura para a interpolação e extrapolação de cálculo da PB. Em termos de composição do óleo, é necessário o conhecimento somente até a fração C_7^+ , sem nenhum processo de caracterização. Para esta análise foram usados dados experimentais de oito óleos da literatura.

2. Metodologia

Para o cálculo da pressão de bolha é utilizado a equação de estado de Soave–Redlich–Kwong (SRK) (Pedersen e Christensen, 2007).

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a(T)}{V(V+b)} \quad (1)$$

Para uma mistura de N componentes, tem-se que:

$$a = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N z_i z_j \sqrt{a_i a_j} (1 - k_{ij}) \quad (2)$$

$$b = \sum_{i=1}^N z_i b_i \quad (3)$$

onde z é a fração molar, i e j são indicadores dos componentes e k_{ij} o parâmetro de interação binária. Tendo como função objetivo a minimização do somatório dos desvios absolutos percentuais do PB experimental e calculado, são estimados os valores dos parâmetros k_{ij} para três temperaturas, considerando ser este o número mínimo necessário para o desenvolvimento de uma correlação. As correlações geradas são avaliadas sob o ponto de vista de extrapolação e interpolação da faixa de temperatura na qual foram geradas.

3. Resultados e Discussão

Oito óleos da literatura foram selecionados para avaliar o desempenho do modelo sugerido. As informações mais relevantes de cada óleo estão na tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades e composição das amostras de óleo bruto

Óleo	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8
Componentes								
N ₂	0,39	0,49	0,91	0,47	0,48	0,09	0,31	0,32
CO ₂	1,74	11,37	1,57	1,59	0,92	1,02	3,55	2,29
H ₂ S	0,00	3,22	5,39	1,44	0	0,05	0,7	0,01
C ₁	20,55	27,36	24,02	32,22	43,43	42,42	32,55	17,67
C ₂	7,31	9,41	10,09	12,42	11,02	10,80	8,42	5,25
C ₃	5,34	6,70	9,58	10,29	6,55	6,92	6,9	6,14
C ₄	4,65	3,98	6,66	6,90	4,49	4,48	4,31	6,63
C ₅	7,85	3,20	5,01	4,93	3,53	3,30	3,59	5,84
C ₆	5,48	2,49	4,77	4,12	2,70	30,93	3,35	5
C ₇ ⁺	46,69	31,79	32,00	25,62	26,88	0	36,31	50,87
Tres (K)	369,25	419,61	393	410	389,15	338,7	405,93	397,04
Pressão de Bolha (Mpa)	9,87	21,26	17,1	20,27	22,68	19,48	20,0	30,51

Fonte de dados: [O1] = Bahrami *et al.* (2015); [O2] = Gonzalez *et al.* (2008); [O3] e [O4] = Buenrorostro *et al.* (2004); [O5]= Jamaluddin *et al.* (2001); [O6]= Arya *et al.*(2015); [O7]=Gonzalez *et al.* (2012); [O8]= Jamaluddin *et al.*(2000).

A Tabela 2 indica as 3 temperaturas T(1), T(2) e T (3) empregadas no desenvolvimento das correlações, como também a correlação mais adequada, para os pontos experimentais de cada óleo analisado. A pressão de bolha na temperatura do reservatório também foi utilizada como um dos pontos experimentais nos óleos analisados. A partir da melhor correlação de k_{ij} em função da temperatura foi testado a interpolação e a extrapolação, considerando-se os seguintes tipos de erros: a) erro percentual relacionado aos valores interpolados (Erro 1) e b) erro percentual relacionado os valores extrapolados (Erro 2). Para o PB calculado, utilizou-se o k_{ij} obtido a partir da melhor correlação para cada óleo analisado. Na Tabela 2, são apresentados esses erros entre parênteses para a interpolação (na coluna Erro 1) e para a extrapolação (na coluna Erro 2). Vale observar que para cinco óleos (O1, O3, O4, O6 e O7) a melhor correlação possui a mesma forma matemática (logarítmica). No entanto, não existe nenhuma característica específica na composição destes óleos que permita justificar este comportamento comum.

Tabela 2 - Correlações para Kij.

Óleo	T(1)(K)	T(2)(K)	T (3)(K)	Correlação [Kij f(T)]	Erro 1 (%) (K)	Erro 2 (%) (K)
O1	333,15	353,15	369,25	$(-0,372 \cdot \ln(T)) + 2,053$	8,75(338,15)*	
					4,81(345,29)*	10,1(285,29)*
					5,78(358,86)*	3,68(289,89)
					4,97 (363,15)*	2,12(437,80)
O2	360,4	383,11	419,61	$0,000006 \cdot T^2 - 0,0029 \cdot T + 0,243$	0,62 (205,11)*	0,84 (167,15)*
					0,22 (218,63)*	0,28 (177,37)*
					1,80 (243,07)*	7,40 (305,84)*
					4,38 (285,40)*	8,77 (318,98)*
					0,20(399,33)	
O3	348,15	393,15	413,15	$(-0,001 \cdot \ln(T)) - 0,0317$	5,35 (357,92)*	
					7,33(363,15)	14,58(333,88)*
					5,25 (381,97)*	1,35 (427,87)*
					1,81 (402,73)*	
O4	335,15	393,15	413,15	$(-0,202 \cdot \ln(T)) + 1,1717$	1,85 (343,72)*	
					1,3(354,15)	
					1,17 (369,95)*	1,08(309,84)*
					0,64 (386,34)*	3,67 (433,33)*
					1,14 (403,83)*	
O5	372,15	377,15	389,15	$(-0,00009 \cdot T^2 + 0,0185 \cdot T + 1,0505)$	2,92(383,15)	--
O6	322,32	338,7	372,04	$0,8906 \cdot \ln(T) - 4,9053$	1,00(355,30)	4,3(389,26)
O7	307,59	356,48	405,93	$(-0,031 \cdot \ln(T)) + 0,098$	0,78(422,97)	--
O8	316,48	338,71	397,04	$(-0,0003 \cdot T + 0,0888)$	3,30(366,48)	--

-- Não há dados suficientes para a avaliação. * Temperaturas correspondentes a PB lido nos gráficos.

Dois tipos de erros percentuais de PB são apresentados na Tabela 2. Aqueles correspondentes aos valores experimentais e aqueles correspondentes a valores lidos diretamente nos gráficos e designados como (*). Dos 8 óleos avaliados foi possível avaliar inúmeras possibilidades para os óleos O1, O2, O3 e O4. O óleo O1, em termos de interpolação, teve o maior erro observado (8,75 %) e para a extrapolação foi de 10,1 %. É interessante salientar que para este óleo o maior erro de extrapolação corresponde a uma

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

www.conepetro.com.br

diferença de 47,86 K em relação a T(1) enquanto que para uma diferença maior de 68,55 K de T(3) se tem um erro menor (2,12 %). Ou seja, não há uma relação direta entre os valores das temperaturas avaliadas na extrapolação e os limites de temperatura nos quais foi obtida a melhor correlação de k_{ij} . Para o óleo O2, os erros foram menores: 4,38 % foi o maior erro para interpolação e o maior erro para extrapolação foi de 8,77 %. Neste óleo todas as avaliações de extrapolação foram realizadas em temperaturas inferiores a T(1) e curiosamente os erros foram maiores para temperaturas mais próximas a T(1): 8,77 % para uma temperatura de 318,98 K e 7,40 % para um temperatura de 305,84 K. Os erros menores foram atingidos em temperaturas mais distantes de T(1). Para o óleo O3, 7,33 % foi o maior erro para a interpolação e 14,58% o maior erro para a extrapolação. Curiosamente, neste óleo as diferenças entre as temperaturas extrapoladas e T(1) e T(3) são muito semelhantes: 14,27 K entre a temperatura extrapolada e T(1) com um erro de 14,58%; enquanto que 14,72 K é a diferença entre a temperatura extrapolada e T(3) com um erro de somente 1,35 %. Mais uma vez não existe uma correlação direta entre os limites da correlação T(1) e T(3) e as respectivas temperaturas a serem utilizadas na extrapolação. Para o óleo O4 o maior erro na interpolação foi de 2,92 % e para extrapolação foi de 3,67 %, portanto, erros muito pequenos. Neste caso também os valores extrapolados se situam na mesma ordem de grandeza de T(1) e T(3): diferença de 23,31 K para T(1) com um erro de 1,08 % e diferença de 20,18 K em relação a T(3) com um erro de 3,67 %. Para os óleos O5, O7 e O8, só é conhecida uma temperatura para cada um destes óleos e, por esta razão, não foi possível realizar uma avaliação mais detalhada. Quanto ao óleo O6, são conhecidas uma temperatura para interpolação e outra para extrapolação. Os resultados para os óleos O5, O6, O7 e O8 são muito pequenos. Como era esperado, os erros de interpolação foram menores do que os erros de extrapolação. Desta forma, a interpolação dos dados torna-se possível com o uso da correlação de k_{ij} em função da temperatura, já que com o uso das correlações, erros aceitáveis foram obtidos. Com a correlação sendo válida, a medição de valores experimentais de ponto de bolha para valores de temperatura interpolados não precisa ser realizada, já que as correlações analisadas permitem obter resultados com valores de erro aceitáveis. Conseqüentemente, há uma redução de custos e tempo já que medidas de PB são caras e complicadas de serem feitas. Entretanto, para a extrapolação, mesmo obtendo erros aceitáveis, apenas um número pequeno de óleos foi analisado devido à quantidade reduzida de dados presentes na literatura.

4. Conclusão

Medidas de pontos de bolha de um óleo qualquer são caras e complicadas. Nesse contexto, usando uma equação de estado cúbica, sem o processo de caracterização do resíduo e com somente 3 valores experimentais de ponto de bolha, foi mostrado que uma correlação simples entre o parâmetro k_{ij} e a temperatura permite obter erros aceitáveis para a interpolação de dados de ponto de bolha. Por outro lado, o mesmo não pode ser dito em relação aos dados de PB extrapolados, já que os erros obtidos para os óleos analisados impedem de uma discussão conclusiva, já que para alguns óleos o erro foi maior que o aceitável e para outros menores.

5. Referências

- AHMADI, M.; ZENDEHBOUDI, S.; JAMES, L.; ELKAMEL, A.; DUSSEAUULT, M.; CHATZIS, I.; LOHI, A. New tools to determine bubble point pressure of crude oils: Experimental and modeling study. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 123, set. 2014.
- ARYA, A.; VON SOLMS, N.; KONTOGEORGIS G. Determination of asphaltene onset conditions using the cubic plus association equation of state. **Fluid Phase Equilibria**. v. 400, abr. 2015.
- BAHRAMI, P.; KHARRAT R.; MAHDAVI, S.; FIROOZINIA, H. Prediction of the Gas Injection Effect on the Asphaltene Phase Envelope. **Oil & Gas Science and Technology – Revue d’IFP Energies nouvelles**, v. 70, n. 6, 2015.
- BUENROSTRO-GONZALEZ, E.; LIRA-GALEANA, C.; GIL-VILLEGAS, A.; WU, J. Asphaltene precipitation in crude oils: Theory and experiments. **AIChE Journal**, v. 50, out. 2004.
- GONZALEZ, D. L.; GARCIA, M. E.; DIAZ, O. Unusual asphaltene phase behavior of fluids from lake Maracaibo, SPE 153602, **Society of Petroleum Engineers**, Mexico City, Mexico, 2012.
- GONZALEZ, D.; VARGAS, F.; HIRASAKI, G.; CHAPMAN, W. Modeling Study of CO₂-Induced Asphaltene Precipitation†. **Energy & Fuels**, v. 22, n.2, 2008.
- JAMALUDDIN, A. K. M.; CREEK, J.; KABIR, C. S.; MCFADDEN, J. D.; D’CRUZ, D.; JOSEPH, M. T.; JOSHI, N.; ROSS, B. A comparison

of various laboratory techniques to measure thermodynamic asphaltene instability, SPE 72154, **Society of Petroleum Engineers**, Kuala Lumpur, Malaysia, 2001.

JAMALUDDIN, A. K. M.; NIGHSWANDER, J. N.; KOHSE, B. F.; EL MAHDI, A.; BINBREK, M. A.; HOGG, P. F. Experimental and theoretical assessment of the asphaltene precipitation characteristics of the Sahil Field under a proposed miscible gas injection scheme, SPE 87292, **Society of Petroleum Engineers**, Abu Dhabi, UAE, 2000.

PEDERSEN, Karen Schou et al. **Phase behavior of petroleum reservoir fluids**. Taylor & Francis Group, LLC, 2007.