

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE PREDITIVA DA CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO NO CÁLCULO DA PRESSÃO DE BOLHA

Paulo, S. M. V. Rocha¹ (PETROBRAS), Fransisco, A. Santiago² (UNIFACS), Paulo, U. O. Costa² (UNIFACS),
Gloria, M. N. Costa² (UNIFACS)

¹ Unidade de Negócios da Bahia Av. ACM, 1.113, Itaigara – CEP: 41.859-900 – Salvador – BA,
e-mail: psrocha@petrobras.com.br

² Centro de Estudos em Petróleo e Gás Natural (CEPGN) – Av. Cardeal da Silva, 132, Federação – CEP: 40.220-141 – Salvador – BA,
e-mail: jr@engelet.unifacs.br, paulo.costa@engqui.unifacs.br, gloria.costa@unifacs.br

Para uma determinação precisa das características do petróleo e para sucesso em projetos de recuperação avançada de petróleo, a descrição correta de equilíbrio de fases é um fator fundamental. O bom conhecimento de equilíbrio de fases passa pela determinação experimental dos valores de pressão, temperatura e composição das fases em equilíbrio. A consequência natural dessa etapa é correlacionar, com precisão, os dados experimentais através de modelos termodinâmicos, permitindo a interpolação e extrapolação de dados para outras condições.

Equações cúbicas de estado têm larga aceitação como ferramentas que permitem o cálculo flexível e conveniente do comportamento de fases do fluido de reservatório. Elas facilitam os cálculos do comportamento complexo associado a condensado, óleos voláteis e processos de injeção. Apesar de sua flexibilidade (ou talvez devido a sua flexibilidade), os parâmetros de uma equação cúbica de estado necessitam de ajuste, antes da sua aplicação para um fluido em particular. Durante o ajuste, estes parâmetros são modificados para tornar as predições da equação de estado o mais próximo possível de uma variedade de dados experimentais, com ênfase especial na pressão de bolha. A pressão de bolha é talvez a propriedade mais importante de um óleo para estudo de comportamento de fase, pois, diversos tipos de simulação têm como etapa inicial o seu cálculo.

Entre os parâmetros mais sensíveis ao ajuste, principalmente no cálculo da pressão de bolha, destaca-se o parâmetro de interação binária.

Apesar de estar disponível na literatura, um número variado de métodos de caracterização do óleo, existe espaço para uma abordagem diferente, objetivo deste trabalho.

Neste estudo é realizada uma avaliação da capacidade preditiva da caracterização do óleo. Resumidamente trata-se de verificar quão distante o valor simulado da pressão de bolha se encontra do valor experimental, utilizando-se somente os dados composicionais do óleo, sua temperatura e parâmetros de interação binária default da caracterização. A equação de estado empregada é a de Soave-Redlich-Kwong e três diferentes metodologias de caracterização do óleo são avaliadas: WinProp (versão Windows do CMG Prop), Pedersen et al. (1988) e Quiñones-Cisneros e Stenby (2003), as duas últimas apresentadas no simulador SPECS (Technical University of Denmark). Para esta avaliação é empregada uma base de dados constituídos de 19 óleos, selecionados da literatura.

Equação de estado, pressão de bolha, caracterização de óleo.

1. INTRODUÇÃO

A produção de fluidos de reservatórios é acompanhada de variações de pressão. Isto conduz não somente a alterações nas propriedades do fluido, mas também à formação de nova fase, ou eliminação de alguma das fases existentes. A pressão de bolha é talvez uma das propriedades mais importante de um óleo para estudo de comportamento de fase, pois diversos tipos de simulação têm como etapa inicial o seu cálculo.

Com a equação de estado de Soave-Redlich-Kwong (SRK) (1972) e três diferentes metodologias de caracterização do óleo: WinProp (versão Windows do CMG Prop), Pedersen et al. (1988) e Quiñones-Cisneros e Stenby (2003), as duas últimas apresentadas no simulador SPECS (Technical University of Denmark) é realizado um estudo sobre a influencia de não se ajustar o parâmetro de interação binário da equação de estado, na qualidade da simulação da pressão de bolha. Resumidamente trata-se de verificar quão distante o valor simulado da pressão de bolha se encontra do valor experimental, utilizando-se somente os dados composicionais do óleo, sua temperatura e parâmetros de interação binária *default* da caracterização. Portanto, esta abordagem se constitui na avaliação da capacidade preditiva da caracterização, sendo empregada uma base de dados constituída de 19 óleos, selecionada da literatura.

2. MÉTODOS

Equações cúbicas de estado (ECE) são, para substâncias puras, relações matemáticas entre volume, pressão e temperatura. Para misturas, as ECE, além disso, incluem composição. A mesma equação é usada para calcular as propriedades de todas as fases. Para este trabalho, optou-se pela equação cúbica de estado de Soave-Redlich-Kwong (1972) expressa por:

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

onde P, V e T designam a pressão, volume molar e temperatura respectivamente. Os parâmetros “a” e “b” da equação são função da temperatura crítica T_c , pressão crítica P_c , e fator acêntrico w do componente.

Quando usada a Equação (1) para misturas, os parâmetros dos componentes puros “a” e “b” são substituídos pelas seguintes regras de mistura:

$$a = \sum_{i=1}^{nc} \sum_{j=1}^{nc} x_i \cdot x_j \cdot (a_i a_j)^{0.5} \cdot (1 - K_{ij}) \quad (2)$$

$$b = \sum_{i=1}^{nc} x_i \cdot b_i \quad (3)$$

sendo K_{ij} o parâmetro de interação binária.

Para melhorar a predição do volume molar da fase líquida obtido com ECE de dois parâmetros, mantendo a qualidade da descrição do equilíbrio de fases, Peneloux *et al.* (1982), introduziram o conceito de deslocamento de volume, isto é, deslocamento do eixo de volume, e o aplicou na equação SRK.

$$V^{cor} = V - c \quad (4)$$

onde V^{cor} é o volume molar corrigido, e c é o termo de correção

Os componentes de um fluido de reservatório podem ser classificados como:

- Componentes definidos são aqueles para os quais existe uma análise cromatográfica quantitativa e que são conhecidos suas propriedades críticas e fator acêntrico. Estes componentes incluem não hidrocarbonetos e hidrocarbonetos até pelo menos C_6 ;
- Frações TBP (True Boiling Point) cobrem frações de ponto de ebulição de C_7 até no máximo C_{30} , cada uma delas contendo muitos componentes diferentes. A densidade e o peso molecular médio podem ser medidos para cada fração;
- Resíduo TBP, ou simplesmente resíduo, consiste de componentes que são pesados demais para serem separados usando um procedimento de destilação TBP. A densidade e o peso molecular médio podem ser medidos para a amostra toda, mas nem a distribuição de ponto de bolha nem a distribuição de peso molecular podem ser medidas.

Como observado anteriormente, os parâmetros necessários para a equação de estado para componentes puros são determinados pelas propriedades críticas e pelo fator acêntrico que são bem definidos para os hidrocarbonetos leves, mas não disponíveis facilmente para as frações mais pesadas de hidrocarbonetos (resíduo). A caracterização do resíduo envolve a determinação da distribuição de números de carbono, a divisão em pseudocomponentes, o cálculo das propriedades críticas e do fator acêntrico dos pseudocomponentes. Vale ressaltar que, além das constantes críticas e do fator acêntrico são necessários, como parâmetros de entrada na equação de estado, os parâmetros binários de interação K_{ij} entre pares de componentes ou pares de componentes e pseudocomponentes.

2.1 Caracterização de Pedersen *et al.* (1988)

Pedersen *et al.* (1988) utilizaram um procedimento para determinar as propriedades críticas e o fator acêntrico de cada fração TBP. As formas funcionais utilizadas pelos autores foram:

$$Tc_i = d_1 \cdot SG_i + d_2 \cdot \ln MW_i + d_3 \cdot MW_i + d_4 / MW_i \quad (5)$$

$$\ln Pc_i = d_5 + d_6 \cdot SG_i + d_7 / MW_i + d_8 / MW_i^2 \quad (6)$$

$$w_i = d_9 + d_{10} MW_i + d_{11} SG_i + d_{12} MW_i^2 \quad (7)$$

onde, MW_i e SG_i são o peso molecular e a densidade do componente, respectivamente.

Os valores dos coeficientes d_1 a d_{12} são apresentados na referência original.

Pedersen *et al.* (1985) desenvolveram um procedimento onde é dada igual importância para todos os segmentos de hidrocarbonetos das frações C_7^+ . Isto assegura que cada átomo de carbono tem quase a mesma influência nos cálculos do comportamento de fase. Os componentes são divididos em grupos que por peso são aproximadamente de igual tamanho, ou em outras palavras cada grupo contém aproximadamente a mesma fração em peso.

As propriedades críticas e o fator acêntrico de cada pseudocomponente são calculados com valores médios ponderais.

2.2 Caracterização de Quiñones – Cisneros e Stenby (2003)

O procedimento desta metodologia consiste em caracterizar as frações pesadas distribuindo a fração mássica de C_7^+ de acordo com uma função de distribuição qui – quadrado com grau de liberdade p , que melhor representa a distribuição mássica da fração C_7^+ . No simulador, o grau da função distribuição p está fixado em 4. A fração C_7^+ (cujo peso molecular é MW^+) é caracterizada em um número “ m ” de frações F_i , sendo MW_i o peso molecular da fração F_i , obtido a partir do valor atribuído a MW^+ . As equações resultantes para propriedades críticas e fator acêntrico da fração F_i são:

$$Tc_i = -423,587 + 210,152 \cdot \ln(MW_i) \quad (8)$$

$$Pc_i = fc \cdot \exp(9,67283 - 4,05288 MW_i^{0,1}) \quad (9)$$

$$w_i = \exp \left[8,50471 - \frac{15,1665}{MW_i^{0,1}} \right] \quad (10)$$

onde fc representa um fator de perturbação diferente do valor de $fc = 1$ que corresponde ao ajuste dos n-alcenos.

O parâmetro de Peneloux c , Equação 4, é estimado com a regra de mistura, expressa pela Equação 11, onde o somatório inclui somente a fração pesada ($f.p$) dos pseudocomponentes correspondentes a C_7^+ e K_v representa uma constante característica de volume para o líquido.

$$c = k_v \sum_{f.p} x_i \cdot MW_i \quad (11)$$

2.3 Caracterização pela metodologia do simulador WinProp

Os componentes contidos no banco de dados do simulador são: hidrocarbonetos puros, gases leves, água e fração TBP de C_6 até C_{45} . As densidades (SG), pesos moleculares e pontos de ebulição (T_B) da fração TBP são obtidos de Whitson (1983).

As propriedades críticas destas frações são calculadas com as correlações de Lee-Kesler (1976), dados por:

$$T_c = 341,7 + 811 \cdot SG + (0,4244 + 0,1174 \cdot SG) \cdot T_B + (0,4669 - 3,2623 \cdot SG) \cdot 10^5 / T_B \quad (12)$$

$$\ln P_c = 8,3634 - 0,0566/SG - (0,25244 + 2,2898/SG + 0,11857/SG^2) \cdot 10^{-3} \cdot T_B + \\ + (1,4685 + 3,648 \cdot SG + 0,47227/SG^2) \cdot 10^{-7} \cdot T_B^2 - (0,42019 + 1,6977/SG^2) \cdot 10^{-10} \cdot T_B^3 \quad (13)$$

$$w = \frac{\ln P_{Br} - 5,92714 + 6,09648/T_{Br} + 1,28862 \cdot \ln T_{Br} - 0,169347 \cdot T_{Br}^6}{15,2518 - 15,6875/T_{Br} - 13,4721 \cdot \ln T + 0,43577 \cdot T_{Br}^6} \quad (14)$$

para $T_{Br} < 0,8$

$$w = -7,904 + 0,1352 \cdot K - 0,007465 \cdot K^2 + 8,359 \cdot T_{Br} + (1,408 - 0,01063)/T_{Br} \quad (15)$$

para $T_{Br} > 0,8$

onde K é o fator de caracterização de Watson que é igual a $T_B^{1/3}/SG$ e $T_{Br} = T_B/T_c$.

3. RESULTADOS

Por questão de simplicidade, os métodos de caracterização serão nomeados de agora em diante simplesmente como: caracterização WinProp, Pedersen e Cisneros, respectivamente.

A equação de estado SRK e estas três caracterizações foram aplicadas em um banco de dados, obtido da literatura, constituído de 19 óleos apresentados na Tabela 1. Para todos os óleos são conhecidos experimentalmente: a composição molar até C_7^+ e o peso molecular da fração C_7^+ . Para 12 óleos são conhecidas também a densidade da fração C_7^+ . Para cada uma das caracterizações foi avaliado o desempenho considerando-se somente os valores *default* da respectiva caracterização.

Tabela 1 – Banco de dados de óleos

Óleo	Temperatura (°F)	Psat (psia)	Referência
1	109	860	Rathmell, J.J. <i>et al.</i> (1971)
2	103	1555	Rathmell, J.J. <i>et al.</i> (1971)
3	186	4250	Rathmell, J.J. <i>et al.</i> (1971)
4	188	1855	Jacobson, H.A. (1972)
5	100	350	Taylor, R. <i>et al.</i> (1998)
6	105	710	Metcalfe, R.S. (1982)
7	135	710	Metcalfe, R.S. (1982)
8	104	1255	Spence & Watkins (1980)
9	130	1820	Dicharry <i>et al.</i> (1973)
10	92	340	Hill <i>et al.</i> (1994)
11	170	2358	Chaback J. J. (1988)
12	200	2886	Jaubert J. N. (2002)
13	94	798	Shelton, J.L. (1977)
14	237	3700	Jessen, K. (2000)
15	219,92	2480	Jaubert, J.N. (2002)
16	184,1	2393	Jaubert, J. N. (2002)
17	170,1	570	Jaubert, J. N. (2002)
18	201,92	666	Dado interno
19	210	2552	Dado interno

Na caracterização de Pedersen, para calcular as propriedades críticas e o fator acêntrico dos pseudocomponentes (resíduo), abrangendo, portanto frações a partir de C_7 , as variáveis independentes necessárias são: o peso molecular (MW_i) e a densidade (SG_i) de cada componente. Para estimar a composição do resíduo, uma distribuição logarítmica da fração molar, z_i , versus número de carbonos do componente (ou fração),

CN_i, é usada. O peso molecular MW_i e a densidade SG_i de cada subfração no resíduo são calculados com CN_i. A partir do conhecimento de SG_i e MW_i de cada subfração no resíduo, a temperatura crítica, pressão crítica e fator acêntrico são calculados com as mesmas equações utilizadas para os componentes definidos. O método usado para “aglutinar” as frações do resíduo em grupos é dado por Pedersen *et al.* (1985).

No Centro de Estudos em Petróleo e Gás Natural (CEPGN-UNIFACS), avaliação anterior realizada para esta caracterização indicou como sendo a melhor opção, o ajuste das propriedades críticas das três frações mais pesadas sem a correção de Peneloux e a composição do óleo definida até C₇⁺.

A caracterização de Cisneros é diferente da caracterização de Pedersen em vários aspectos:

- o número de frações mais pesadas a ser ajustado é fixo, pois o método considera a composição até C₇⁺;
- a pressão crítica é modificada assumindo um valor de MW⁺ e é influenciada por fc e MW⁺;
- finalmente, o parâmetro de Peneloux “c” é modificado com o valor de K_v.

Resumidamente, podemos ajustar três parâmetros: MW⁺, fc e K_v.

No simulador WinProp, para os óleo nos quais estão disponíveis a densidade e o peso molecular do resíduo, estas duas propriedades são adicionadas ao simulador, gerando as propriedades críticas e o fator acêntrico. Para os óleos nos quais estão disponíveis, somente o peso molecular experimental do resíduo, a opção de cálculo consiste em selecionar a fração do banco de dados do simulador mais próxima ao valor experimental do resíduo.

Na Tabela 2 são apresentados os erros percentuais da pressão de bolha para as 3 caracterizações sem o ajuste do parâmetro de interação binário (K_{ij}).

Tabela 2 – Erros percentuais na pressão de bolha sem o ajuste de K_{ij}.

Óleo	Caracterização		
	Pedersen	Cisneros	WinProp
1	20,97	0,88	0,37
2	20,79	1,97	3,32
3	25,15	1,42	3,15
4	17,23	6,83	8,31
5	38,67	26,13	21,26
6	45,13	31,75	24,19
7	39,09	24,10	17,98
8	18,07	4,31	7,01
9	20,81	5,58	5,10
10	28,40	14,39	3,86
11	23,44	2,22	5,63
12	18,40	9,85	8,98
13	24,13	4,12	0,31
14	21,01	6,11	16,44
15	16,69	8,58	5,56
16	15,19	13,29	12,23
17	13,53	8,33	12,75
18	14,96	6,05	6,85
19	6,23	42,46	69,37

Como pode ser observado da Tabela 2, a caracterização de Pedersen apresenta um desempenho preditivo bastante inferior. Ou seja, se tomarmos como exemplo o óleo 1, sem realizar ajuste algum do parâmetro binário K_{ij}, o valor simulado da pressão de saturação, empregando a caracterização do WinProp e de Cisneros, está excepcionalmente próximo ao valor experimental. Este desempenho, como mostra a Tabela 2, permanece constante para todos os óleos, exceto o óleo 19. Para os três óleos, o valor simulado da pressão de saturação é muito ruim, independente da caracterização empregada, óleos: 5, 6, 7. Análise detalhada da composição destes três óleos e de suas respectivas temperaturas, não demonstra nenhuma peculiaridade em relação aos demais óleos.

Como forma de detalhamento dos resultados apresentados na Tabela 2 foi realizada uma investigação relativa à influência da composição do óleo e da temperatura. Para tal, a composição do óleo foi subdividida em termos de componentes voláteis (C₁ e N₂), componentes intermediários (C₂ a C₄, H₂S e CO₂) e componentes pesados (a composição restante).

Na Figura 1 são exibidos os erros percentuais de pressão de bolha sem o ajuste de K_{ij} para a caracterização de Cisneros, em termos de percentuais de voláteis, intermediários e pesados, respectivamente.

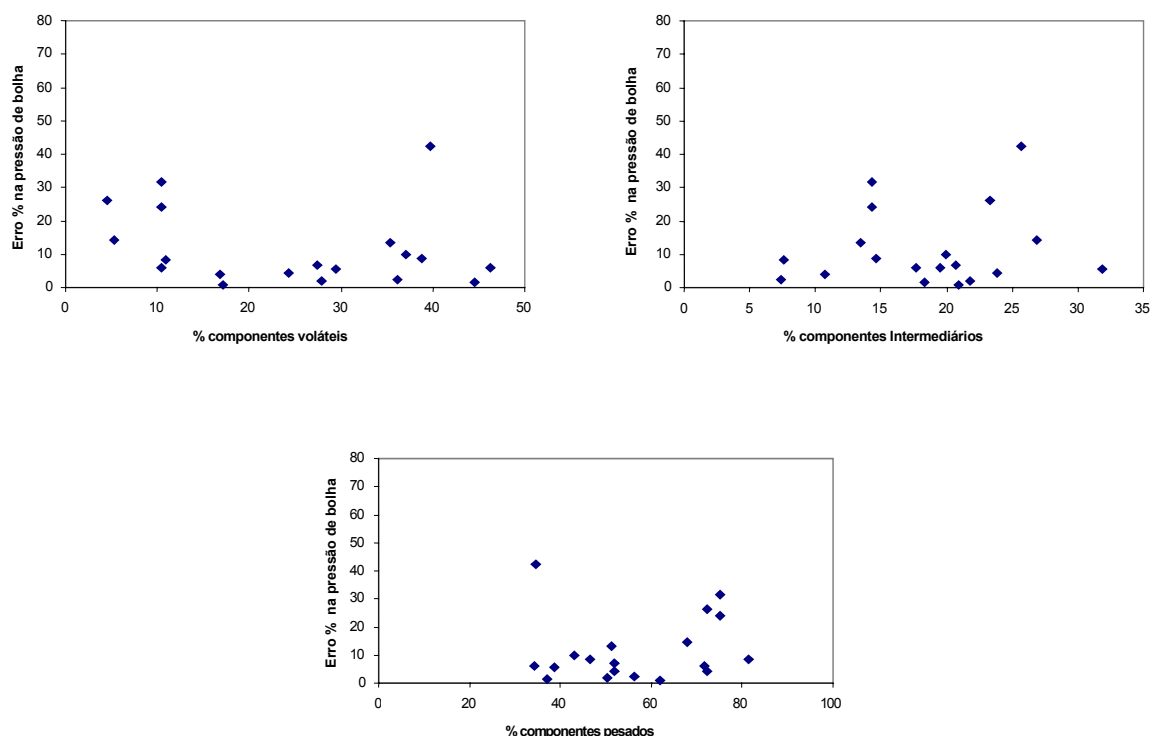


Figura 1 – Relação entre o erro percentual e composição para a caracterização de Cisneros

Os resultados apresentados na Figura 1 para a caracterização de Cisneros demonstram que, para a faixa de percentagem de voláteis, a grande maioria dos óleos apresenta um erro de até 10 pontos percentuais. O mesmo comportamento pode ser verificado em relação ao percentual de componentes intermediários e de componentes pesados. Não existe um comportamento sistemático em relação a nenhuma das três classes de componentes analisados.

Na Figura 2 são apresentadas as mesmas avaliações, porém com a caracterização pelo método do WinProp. Em relação à Figura 2 que exibe o resultado das análises com a caracterização do WinProp, as mesmas avaliações realizadas para a caracterização de Cisneros, podem ser repetidas. Ademais, a disponibilidade dos pontos é extremamente semelhante. A ser destacado o erro extremamente alto, em torno de 70 por cento, para o mesmo óleo que apresentou um erro em torno de 40 por cento para a caracterização de Cisneros

Na Figura 3 são mostradas as mesmas avaliações porém, com a caracterização de Pedersen. Uma análise da Figura 3, para a caracterização de Pedersen, permite constatar, para cada uma das percentagem de componentes no óleo que, o aspecto geral das respectivas figuras, para esta caracterização, correspondem às das outras caracterizações porém, com uma elevação do erro, ou seja, a dispersão é semelhante porém deslocado para um nível superior.

Portanto, podemos concluir que a composição do óleo tem a mesma influência em termos gerais, no cálculo preditivo da pressão de bolha, independente da caracterização, porém, para a de Pedersen, é mais pronunciada.

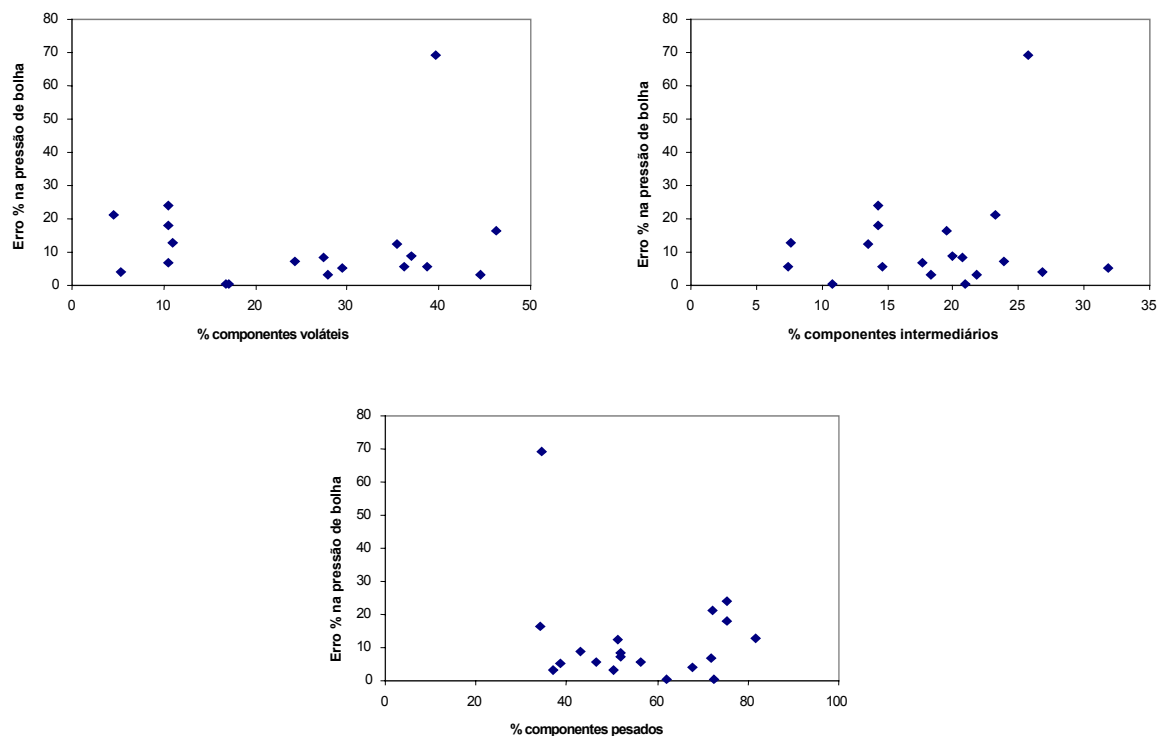


Figura 2 – Relação entre o erro percentual e composição para a caracterização do WinProp

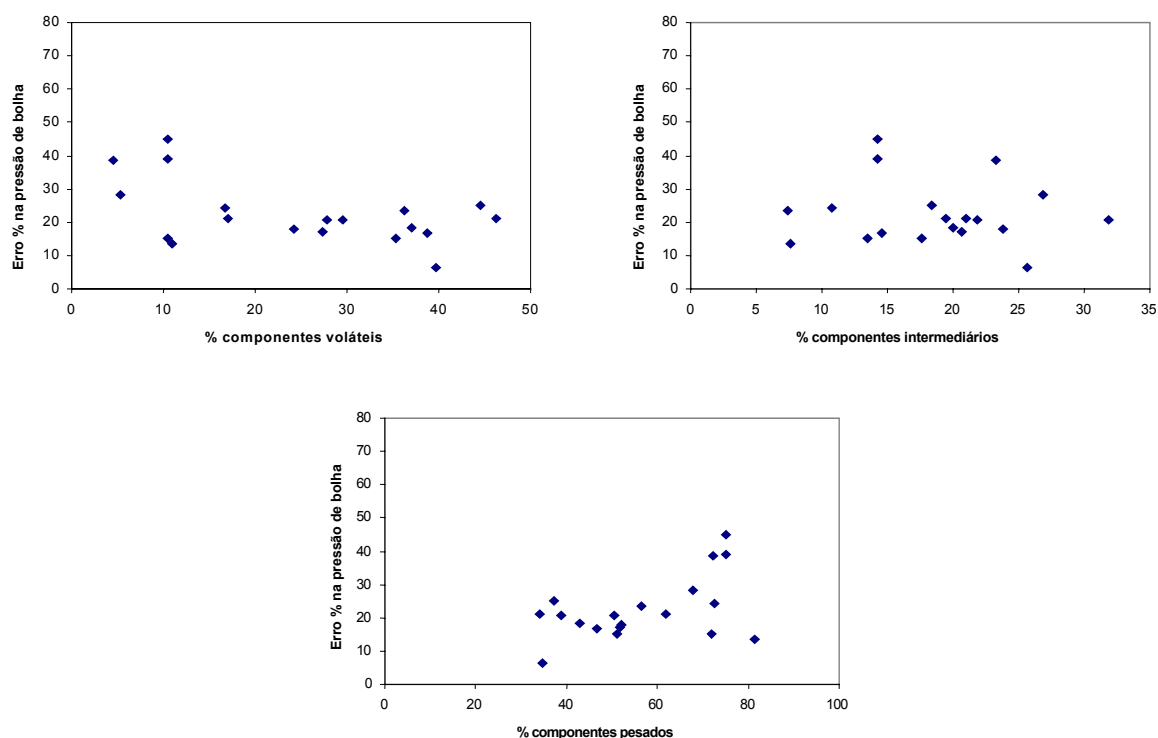


Figura 3 – Relação entre o erro percentual e composição para a caracterização de Pedersen

A influência da temperatura nas caracterizações pode ser observada nas Figuras 4 a 6. Para a faixa em torno de 100°F, a dispersão dos pontos na caracterização de Cisneros é muito semelhante a de Pedersen, exceto que

esta ultima apresenta um deslocamento para cima, implicando em um erro maior. Para a faixa de temperatura entre 100 e 150°F o aspecto é semelhante para as três caracterizações, novamente com um deslocamento superior para a caracterização de Pedersen. Para a faixa entre 150 e 200 °F a semelhança ocorre entre a caracterização do WinProp e de Cisneros. Para a faixa de temperatura entre 200°F e 250°F a semelhança ocorre entre a caracterização de Cisneros e a de Pedersen, com a mesma ressalva dos casos anteriores.

Portanto, ao analisarmos exclusivamente a temperatura, dependendo da faixa considerada, as semelhanças ocorrem entre diferentes caracterizações, porém sempre com a explicitação de que, a caracterização de Pedersen fornece erros maiores com a exceção do óleo 19.

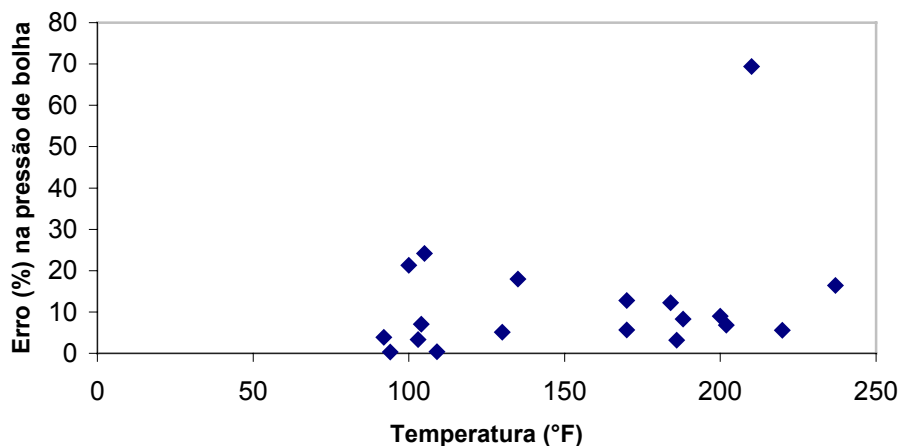


Figura 4 – Influência da temperatura na caracterização do WinProp

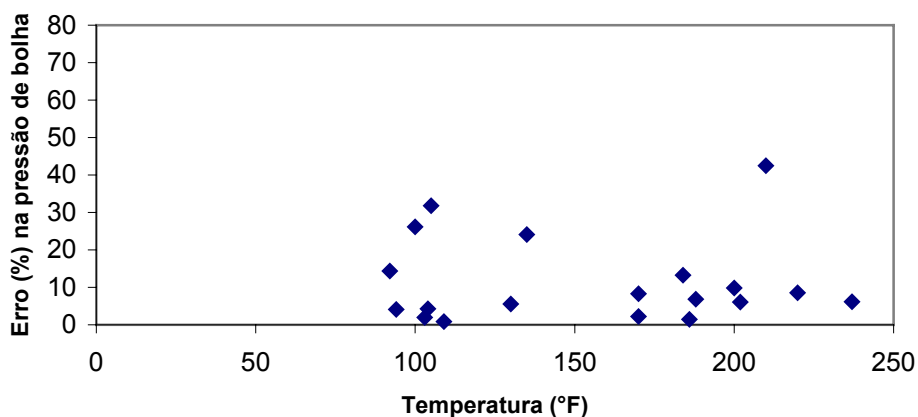


Figura 5- Influência da temperatura na caracterização de Cisneros

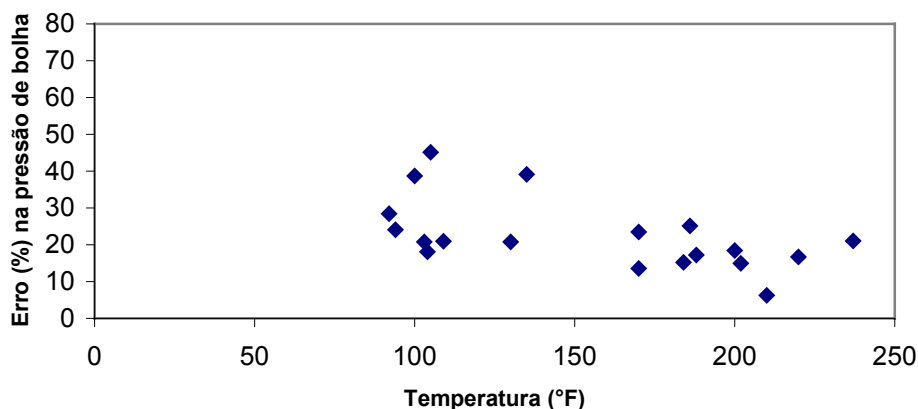


Figura 6- Influência da temperatura na caracterização de Pedersen

4. CONCLUSÃO

Foi monitorada, através do cálculo da pressão de bolha, a influência de não ser realizado o ajuste do parâmetro de interação binária (K_{ij}), utilizando 3 caracterizações diferentes.

Para este estudo foi utilizado um banco de dados de 19 óleos obtidos da literatura.

Os resultados demonstraram que, indiscutivelmente, as caracterizações do WinProp e de Cisneros fornecem resultados melhores e muito semelhantes, do que a caracterização de Pedersen, exceto em um óleo (óleo 19 da Tabela 2). Para três óleos o valor do erro percentual da pressão de bolha foi muito alto, para as três caracterizações, não sendo encontrada uma justificativa plausível para este fato. Não se consegue fazer uma heurística entre as composições, temperaturas, caracterizações e erro percentual preditivo no ponto de bolha.

5. REFERÊNCIAS

- ABDASSAH, D.; KRISTANTO, D.; The Potential of Carbon Dioxide Gas injection Application in Improving Oil Recovery; **SPE 64730**, 2000.
- CHABACK, J.J.; Phase Equilibria for Enhanced Oil Recovery in an n-Butane Enriched Carbon Dioxide + Black Oil System; **SPE 17621**, 1988.
- DICHARRY, R.M.; PERRYMAN, T.L.; RONQUILLE, J.D.; Evaluation and Design of a CO₂ Miscible Flood Project – Sacroc Unit, Kelly Snider, Field; **SPE 4083**, 1973.
- HILL, W.J.; TINNEY, T.J.; YOUNG, L.C.; STARK, K.L.; CO₂ Operating Plant, South Welch Unit, Dawson Country, Texas; **SPE 27676**, 1994.
- HOLM, L. W.; JOSENDAL, V. A.; Mechanisms of Oil Displacement by Carbon Dioxide; **J. Pet. Tech.**, pp. 1427-36, December, 1974.
- JACOBSON, H.A.; Acid Gases and their Contribution to Miscibility; **J. Can. Pet. Technol.**; april-june, 56, 1972.
- JAUBERT, J.N.; Laboratoire de Thermodynamique des Separations, Institut National Polytechnique de Lorraine, France, Comunicação Interna, 2002.
- JAUBERT, J.N.; AVAULLEE, L.; Souvay, J.F.; A Crude Oil Data Bank Containing more than 5000 PVT and Gas Injection Data; **J.P.S. Eng.**, vol 34, 65, 2002.
- JESSEN, K.; Effective Algorithms for the Study of Miscible Gas Injection Processes; Ph. D. Thesis, Technical University of Denmark, Denmark, 2000.
- KESLER, M. G. AND LEE, B. I.; Improve prediction of enthalpy of fractions; **Hydrocarbon Processing**, 55, 1976, pp. 153 – 158.
- METCALFE, R.S.; Effects of Impurities on Minimum Miscibility Pressures and Minimum Enrichment Levels for CO₂ and Rich-Gas Displacements; **SPE 219**, 1982.
- PEDERSEN, K. S., THOMASSEN, P., FREDENSLUND, AA. On the dangers of “tuning” equation of state parameters. **Chem. Eng. Science**, v.43, n.2, p.269-278, 1988.
- PÉNELOUX, A., RAUZY, E., FREZE, R. A consistent connection for Redlich-Kwong-Soave volumes. **Fluid Phase Equilibria**, v.8, p.7-23, 1982.
- QUIÑONES-CISNEROS, S. E., STENBY, E. H. Density and viscosity behaviour of petroleum reservoir fluids at high-temperature / high-pressure conditions. **SPE 84284**, 2003.
- RATHMELL, J.J.; STALKUP, F.I.; HASSINGER, R.C.; A Laboratory Investigation of miscible displacement by Carbon Dioxide; **SPE 3483**, 1971.
- SHELTON, J.L. YARBOROUGH, L.; Multiple Phase Behaviour in Porous Media During CO₂ or Rich-Gas Flooding; **SPE 5827**, 1977.
- SOAVE, G. Equilibrium constants from a modified Redlich-Kwong equation of state. **Chem. Eng. Sci.**, p.1197-1203, 1972.
- SPENCE, A.P.; WATKINS, R.W.; The Effect of Microscopic Core Heterogeneity on Miscible Flood Residual Oil Saturation; **SPE 9229**, 1980.
- WHITSON, C. H.; Characterising hydrocarbon plus fractions; **SPE**, 683 – 694 (Aug., 1983).
- TAYLOR, R.; HINTERLONG, G.H.; KUMAR, K.H.; West Welch CO₂ Flood Simulation with an Equation of State and Mixed Wettability; **SPE 39808**, 1998.
- YELLIG, W.F.; Carbon Dioxide Displacement of a West Texas Reservoir Oil; **SPE/DOE 9785**, 1981.
- ZAIN, Z.M.D.; KECHUT, N.I.; NADESON, G.; AHMAD, N.; RAJA, A.; Evaluation of CO₂ Gas Injection for Major Oil Production Fields in Malaysia – Experimental Approach Case Study: Duland Field; **SPE 72106**, 2001.

OIL CHARACTERIZATION BASED ON BUBBLE POINT PRESSURE CALCULATION

A correct evaluation of phase equilibrium is of utmost importance for the oil characterization required for enhanced oil recovery (EOR) projects. That evaluation is based on the measurement of pressure, temperature, and composition of all phases in equilibrium, and the correlation of these properties using thermodynamic models. This procedure allows interpolation and extrapolation of properties under different physical conditions.

Cubic equations of state (EOS) have been extensively used as a tool for evaluation of phase behavior of fluids in reservoirs. Cubic EOS makes easier the calculation of complex systems associate to condensates, volatile oils, and injection processes. Despite of its flexibility, or even because of it, the cubic EOS requires that its parameters be adjusted to each given fluid. In such an adjustment, the cubic EOS parameters are modified in order to make the cubic EOS predictions as close as possible of experimental measurements, in particular of bubble point pressure. Bubble point pressure is perhaps the most important property for an oil phase behavior study because many simulations begin with the bubble point pressure calculation.

The binary interaction parameter is one of the most sensitive for a bubble point pressure calculation.

Although there are many oil characterization methods available in the literature, there is still room left to a different approach.

In our study the bubble point pressure is calculated using the oil composition, temperature and the default binary interaction parameters. The cubic EOS is the Soave-Redlich-Kwong and three methods are employed: WinProp (CMG Prop, Windows version), Pedersen et al. (1988), and Quiñones-Cisneros and Stenby (2003), the last two used in the simulation software SPECS (Technical University of Denmark). A database was made with data from 19 different oils obtained through a literature search.

Keywords: Equation of State, Bubble Point Pressure, Oil Characterization

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo”.