CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E REOLÓGICA DE UM PETRÓLEO CRU E INTEMPERIZADO

Giovana Oliveira Lopes, Iaia Jau, Luiz Adolfo Hegele Junior e Damianni Sebrão

INTRODUÇÃO

O intemperismo do petróleo envolve processos físicos, químicos e biológicos que modificam sua composição e suas propriedades após um derramamento. Entre esses processos, a evaporação é particularmente relevante nas etapas iniciais, promovendo a remoção preferencial das frações mais leves e voláteis. Como consequência, ocorre o enriquecimento relativo do óleo remanescente em frações menos voláteis, acompanhado pelo aumento da densidade, pela redução do grau API e pela elevação da viscosidade (Stiver e Mackay, 1984; Fingas, 2013).

As alterações dessas propriedades influenciam o comportamento do petróleo no ambiente, incluindo seu espalhamento, sua persistência e sua resposta às estratégias de contenção e remediação. Nesse contexto, a avaliação conjunta do grau API, da viscosidade aparente e do comportamento reológico em diferentes temperaturas permite compreender as modificações promovidas pelo intemperismo e fornecer informações relevantes para estudos de derramamentos (Reed et al., 1999; Fingas, 2013).

Dessa forma, este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos do intemperismo simulado sobre o grau API, a viscosidade aparente e o comportamento reológico de um petróleo, investigando também a influência da temperatura sobre suas propriedades de escoamento.

DESENVOLVIMENTO

Foram avaliadas amostras de um petróleo bruto fornecido pela Petrobras, no âmbito do projeto SUBJET/UDESC. O óleo cru (OC) foi submetido ao intemperismo simulado por destilação em uma etapa, sob atmosfera inerte de nitrogênio, com temperaturas de topo de 150 (TC150), 200 (TC200) e 250 °C (TC250). Essas condições correspondem, aproximadamente, a 1 hora, 1 dia e 1 semana de intemperismo natural, respectivamente, conforme procedimento baseado em Stiver e Mackay (1984). As amostras obtidas foram comparadas ao óleo cru para avaliar as alterações das propriedades físicas e reológicas decorrentes do intemperismo.

O grau API foi determinado a partir da densidade das amostras, obtida por picnometria, utilizando procedimento adaptado da norma ASTM D70/D70M-21. A caracterização reológica foi realizada em reômetro rotacional, nas temperaturas de 20, 40 e 50 °C, mediante variação da taxa de cisalhamento. Para cada condição, foram obtidas curvas de viscosidade aparente em função da taxa de cisalhamento, permitindo comparar o comportamento das amostras e avaliar a influência da temperatura sobre suas propriedades de escoamento.

Os dados experimentais foram ajustados ao modelo da Lei da Potência (Ostwald–de Waele), obtendo-se o índice de consistência (K), o índice de comportamento (n) e o coeficiente de determinação (R^2). O parâmetro K está relacionado à consistência do fluido, enquanto n descreve sua resposta à taxa de cisalhamento. Valores de n inferiores à unidade caracterizam comportamento pseudoplástico, no qual a viscosidade aparente diminui com o aumento da taxa de cisalhamento. O coeficiente R^2 foi utilizado para avaliar a concordância entre o modelo e os resultados experimentais.

RESULTADOS

O intemperismo simulado promoveu redução progressiva do grau API, passando de 34,6° no OC para 26,6°, 24,2° e 22,1° nas amostras TC150, TC200 e TC250, respectivamente (Figura 1a). A redução foi mais acentuada entre OC e TC150, com diferença de 8,0°, enquanto as etapas seguintes

apresentaram reduções de 2,4° e 2,1°, respectivamente. Esse resultado indica que a alteração da densidade foi mais expressiva na etapa inicial do intemperismo simulado, associada à remoção preferencial das frações mais leves e voláteis do petróleo.

A viscosidade aparente aumentou progressivamente com o avanço do intemperismo, conforme observado nas curvas obtidas a 20, 40 e 50 °C (Figuras 1b, 1c e 1d, respectivamente). A 20 °C (Figura 1b), a viscosidade da amostra TC200 foi aproximadamente 11 vezes superior à do óleo cru, enquanto a TC250 apresentou incremento superior a 20 vezes. A comparação entre as três temperaturas evidencia a redução da viscosidade aparente com o aquecimento. Diferentemente do grau API, cuja maior alteração ocorreu na etapa inicial, a viscosidade continuou aumentando nas etapas subsequentes, indicando diferentes sensibilidades dessas propriedades às alterações promovidas pelo intemperismo.

A Tabela 1 mostra que, a 20 °C, os índices de comportamento (n) variaram de 0,6719 a 0,8627, indicando maior dependência da viscosidade aparente em relação à taxa de cisalhamento. Nas temperaturas de 40 e 50 °C, os valores de n ficaram mais próximos da unidade, caracterizando menor intensidade do comportamento pseudoplástico. Os coeficientes de determinação (R^2), superiores a 0,994, indicaram boa concordância entre os dados experimentais e o modelo da Lei da Potência.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O intemperismo simulado promoveu redução progressiva do grau API e aumento expressivo da viscosidade aparente do petróleo. A maior redução do grau API ocorreu na etapa inicial, enquanto a viscosidade continuou aumentando nas etapas subsequentes, indicando que essas propriedades apresentam diferentes sensibilidades às alterações promovidas pelo intemperismo.

A elevação da temperatura reduziu a viscosidade aparente e, de modo geral, atenuou o comportamento pseudoplástico das amostras. O modelo da Lei da Potência apresentou boa concordância com os dados experimentais, permitindo caracterizar o comportamento reológico do óleo cru e das amostras intemperizadas nas condições avaliadas.

Os resultados evidenciam a importância de considerar conjuntamente o grau API, a viscosidade aparente e a temperatura na caracterização de petróleos submetidos ao intemperismo. Essas informações contribuem para compreender as alterações nas propriedades de escoamento do óleo e fornecem subsídios para estudos de seu comportamento em cenários de derramamento e para o planejamento de estratégias de resposta ambiental.

Este estudo faz parte do projeto “Modelagem física e numérica de jato submarino de óleo baseada em experimentos”, um acordo de cooperação entre UDESC e Petrobras (número 0050.0125248.23.9), regulamentado pelas cláusulas de investimento em P, D&I da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, Resolução 918/2023).

Palavras-chave: petróleo bruto; intemperismo; grau API; viscosidade aparente; comportamento reológico.

ANEXOS

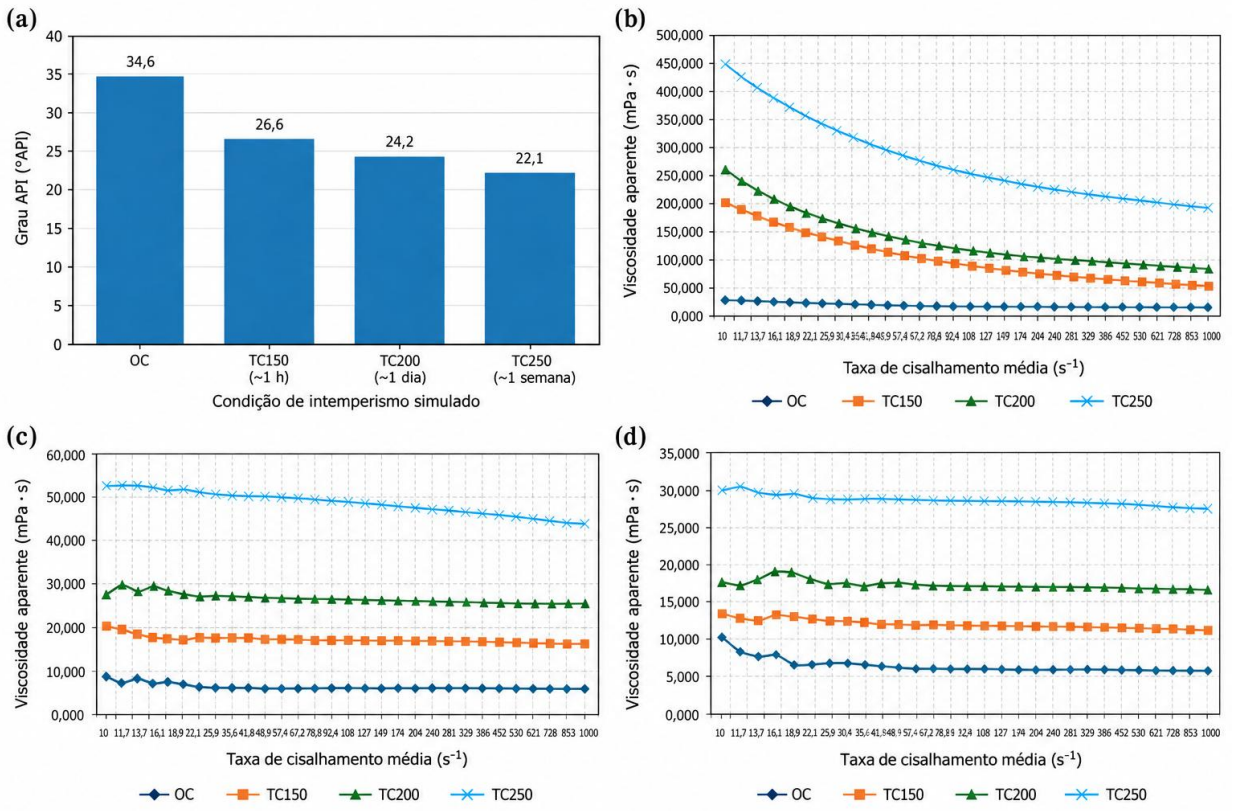


Figura 1. *Efeito do intemperismo simulado sobre o grau API (a) e a viscosidade aparente em função da taxa de cisalhamento nas temperaturas de 20 °C (b), 40 °C (c) e 50 °C (d), para o óleo cru (OC) e as amostras intemperizadas (TC150, TC200 e TC250).*

Tabela 1. *Parâmetros do modelo da Lei da Potência (K e n) e coeficientes de determinação (R^2) obtidos para o óleo cru e as amostras intemperizadas nas temperaturas de 20, 40 e 50 °C.*

T (°C)	Amostra	K (Pa·sⁿ)	n	R²
20	OC	0,0265	0,8627	0,9982
	TC150	0,4314	0,6719	0,9976
	TC200	0,3321	0,7955	0,9952
	TC250	0,6267	0,8198	0,9992
40	OC	0,00776	0,9518	0,9962
	TC150	0,01878	0,9698	0,9995
	TC200	0,02915	0,9805	0,9999
	TC250	0,05842	0,9661	0,9999
50	OC	0,00848	0,9242	0,9948
	TC150	0,01338	0,9753	0,9999
	TC200	0,01892	0,9829	0,9997
	TC250	0,02985	0,9839	0,9999

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D70/D70M-21: Standard Test Method for Specific Gravity and Density of Semi-Solid Asphalt Binder (Pycnometer Method). West Conshohocken, PA: ASTM International, 2021.

FINGAS, M. F. The Basics of Oil Spill Cleanup. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2013.

REED, M.; JOHANSEN, Ø.; BRANDVIK, P. J. et al. Oil Spill Modeling towards the Close of the 20th Century: Overview of the State of the Art. Spill Science & Technology Bulletin, v. 5, n. 1, p. 3–16, 1999.

STIVER, W.; MACKAY, D. Evaporation Rate of Spills of Hydrocarbons and Petroleum Mixtures. Environmental Science & Technology, v. 18, n. 11, p. 834–840, 1984.

BOLSISTA: Giovana Oliveira Lopes
MODALIDADE DE BOLSA: Bolsa de Inovação
VIGÊNCIA: 05/2026 a 01/2027 – Total: 8 meses
ORIENTADOR(A): Damianni Sebrão
COORIENTADOR(A): Luiz A. Hegele Jr.
CENTRO DE ENSINO: Centro de Educação Superior da Foz do Itajaí
DEPARTAMENTO: Engenharia de Petróleo
ÁREAS DE CONHECIMENTO: Engenharias, Engenharia de Energia
TÍTULO DO PROJETO DE PESQUISA: SUBJET | Modelagem física e numérica de jato submarino de óleo baseada em experimentos
Nº PROTOCOLO DO PROJETO DE PESQUISA: NPP4318-2023