



INFLUÊNCIA DA INTERAÇÃO LÍQUIDO IÔNICO-ASFALTENO NA DESESTABILIZAÇÃO E INIBIÇÃO DA FORMAÇÃO DE EMULSÃO DE PETRÓLEO

Elvio Barreto de Melo Filho¹, Raul Silva Dourado¹, Robson Luiz Moura Santos¹, Denisson Santos¹, Cláudio Dariva¹

¹ Universidade Tiradentes, Núcleo de Estudos em Sistemas Coloidais – NUESC/ITP –
denis_s_santos@hotmail.com

RESUMO

Na indústria petrolífera, as emulsões são formadas como resultado da presença de água durante a produção juntamente com a aplicação de alta tensão de cisalhamento nas válvulas e tubulações. Elas são altamente estáveis e geram diversos entraves operacionais, ambientais e econômicos para a indústria. Como meio de remediação desses problemas, vários métodos tem sido estudados para promover separação das fases emulsionadas e/ou inibição da formação de emulsão. Neste cenário, esse trabalho se propõe a investigar a relação da interação de determinados líquidos iônicos com os asfaltenos e determinar a influência dessa interação sobre o nível de estabilidade das emulsões. Para isso foi realizado o estudo de quebra de emulsão com distintos líquidos iônicos em diferentes concentrações. Verificou-se também através de análises de tensão interfacial a interação destes líquidos iônicos com os asfaltenos extraídos do petróleo. Os resultados obtidos confirmaram a eficácia da aplicação de determinados líquidos iônicos como desemulsificantes e inibidores de formação de emulsão. Dentre os fatores preponderantes destacam-se o tamanho da cadeia alquílica do cátion e a concentração do líquido iônico utilizado. As análises de tensão interfacial tornaram evidente a redução do potencial emulsificante dos asfaltenos no petróleo, comprovando a interação entre esses compostos. Assim, constata-se a urgente necessidade de integração dos estudos relacionados à agregação dos asfaltenos e o potencial de formação de emulsão de petróleos. Dessa forma, pode-se otimizar o desenvolvimento de técnicas de inibição e remediação dos problemas gerado por ambos os fenômenos.

Palavras-chave: petróleo, asfalteno, emulsão, líquido iônico.

1. INTRODUÇÃO

O petróleo é geralmente classificado em grupos ou classes de compostos a fim de otimizar os estudos acerca dos fenômenos a ele relacionados.

(MOHAMMADI *et al.*, 2012). Contudo, a simples e generalizada classificação SARA impediu ao longo dos anos a plena compreensão destes fenômenos. Assim, graças ao desenvolvimento da caracterização química das frações de



petróleo tem-se conseguido identificar os compostos realmente responsáveis por diversos problemas verificados na indústria petrolífera, assim como seus respectivos mecanismos (CZARNECKI, 2009).

Os asfaltenos são uma classe de moléculas encontradas na porção de baixa volatilidade do petróleo, que são insolúveis em n-alcenos e solúveis em aromáticos. Eles são caracterizados por possuírem anéis aromáticos condensados, pequenas cadeias laterais alifáticas e grupos funcionais polares contendo heteroátomos. (SPIECKER e KILPATRICK, 2004). Essa classe de moléculas pode ser encontrada em sua forma coloidal, solubilizada no petróleo, ou como partículas sólidas precipitadas (GAFONOVA e YARRANTON, 2001). A depender de seu estado de agregação elas darão origem a problemas distintos mas de igual gravidade nas correntes de produção, como a estabilização de emulsões e formação de depósitos de incrustação.

Na indústria petrolífera, as emulsões são formadas como resultado da presença de água durante a produção juntamente com a aplicação de alta tensão de cisalhamento nas válvulas e tubulações (BORGES *et al.*, 2009). Por outro lado, em processos industriais na refinaria, o emulsionamento da água em óleo é utilizado como forma de extrair sais e sólidos finos do petróleo (SULLIVAN e KILPATRICK, 2002).

Juntamente com as resinas, os asfaltenos desempenham um importante papel na cinética de formação de emulsões de petróleo. Eles acumulam-se e adsorvem na interface água/óleo quando estes entram em íntimo contato, formando um filme rígido, mecanicamente forte e visco-elástico entre as gotas da fase dispersa. (SULLIVAN e KILPATRICK, 2002; YANG *et al.*, 2007). A estabilidade da emulsão ali originada está diretamente ligada às características

desse filme interfacial (ALI e ALQAM, 2000).

Emulsões água/óleo altamente estáveis geram diversos entraves para a indústria. Devido à sua elevada viscosidade, elas prejudicam o sistema de bombeio e transferência, comprometem certas operações nas refinarias, representam volume ocioso na transferência e tancagem do petróleo e geram problemas de incrustação e corrosão nos oleodutos de exportação (BORGES *et al.*, 2009). Para minimizar estes efeitos, as companhias produtoras e refinarias dispõem de vários processos de desestabilização e separação daquelas emulsões. Contudo, em alguns casos eles são ineficientes, além de apresentar alta demanda energética e tempos de residência longos. Ou ainda requererem equipamentos de grande porte que não podem ser facilmente instalados em plataformas de produção em campos marítimos (FORTUNY *et al.* 2008).

A magnitude dos custos despendidos no processamento de emulsões de petróleo é diretamente proporcional à sua estabilidade (STEWART e ARNOLD, 2009). Esta, por sua vez, está relacionada ao nível de solubilização das moléculas de asfaltenos no petróleo (YARRANTON *et al.*, 2000). Assim, um meio de eliminar parcialmente aqueles custos é prevenir a formação de emulsões altamente estáveis. Isso é feito mantendo-se as moléculas de asfalto em solução, impedindo sua agregação e conseqüente precipitação.

Como fora citado, vários métodos são utilizados atualmente para prevenir ou remediar a formação de emulsões. Dentre eles destacando-se a adição de agentes químicos, por apresentar maior eficiência e praticidade de aplicação. Nos últimos anos alguns estudos estão sendo desenvolvidos no tocante a aplicação de determinados líquidos iônicos como agentes químicos desmulsificantes.

Líquidos iônicos são sais fundidos à temperatura ambiente ou próxima a esta.



Eles apresentam baixa pressão de vapor, estabilidade térmica, e possibilidade de mudança nas suas propriedades através da modificação de seus cátions e ânions. Propriedades tais como polaridade, hidrofobicidade, e miscibilidade (VAN RANTWIJK e SHELDON, 2007).

Ademais, as propriedades térmicas desses compostos os tornam adequados para utilização como fluidos térmicos ou transferidores de calor. Essas características peculiares reunidas em um único composto químico despertaram o interesse para sua aplicação na desestabilização de emulsões de petróleo e inibição da agregação de asfaltenos (ANOUDI et al., 2008; BOUKHERISSA et al, 2009; GUZMÁN-LUCERO et al., 2010; HALLET e WELTON, 2011;).

Neste cenário, esse trabalho se propõe a investigar a relação da interação de determinados líquidos iônicos com os asfaltenos. Sobretudo, busca-se determinar a influência dessa interação no nível de estabilidade das emulsões. Dessa forma, abrindo caminho para integração entre a ciência dos asfaltenos e os estudos acerca das emulsões de petróleo, desafio atual da pesquisa.

2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho foi selecionado um petróleo brasileiro oriundo da região de Pré-Sal. Ele foi coletado de maneira que não contivesse qualquer aditivo químico. Sua caracterização físico-química está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Características físico-químicas do petróleo.

Propriedade	Norma de análise	Petróleo BR
Densidade (°API)	ASTM D-5002	23,4
Índice de acidez total (IAT, mg KOH/ g)	ASTM D-664	0,82

Hidrocarbonetos (%m/m)	(CUNHA, 2007)	Saturados 45,3
		Aromáticos 26,8
		Resinas 24,8
		Asfaltenos 3,07

O petróleo foi dividido em dois lotes. O primeiro foi utilizado para extração asfaltenos ou insolúveis em n-heptano. O segundo lote seguiu para o desenvolvimento de ensaios de desestabilização de emulsão.

2.1 Extração de asfaltenos

Os asfaltenos foram extraídos via precipitação por n-heptano (Vetec[®], 99%). Quantidades conhecidas do petróleo estudado foram misturadas com n-heptano na razão de 1/40. A literatura relata que nessa razão petróleo/alcano se obtém a máxima produção de asfaltenos (WANG et al., 2010; MAQBOOL et al., 2011).

A mistura foi levada à agitação magnética sob proteção da luz durante quatro horas. Posteriormente, ela foi mantida em repouso por mais vinte e quatro horas, período após o qual ocorreu a filtração ($\phi = 125$ mm), secagem e recuperação das partículas precipitadas. Em seguida, as partículas de asfalto foram armazenadas separadamente, também sob proteção da luz. A técnica de extração consiste em uma adaptação da norma ASTM 6560-12.

2.2 Ensaios de desestabilização de emulsões

Emulsões água/óleo estáveis com teor de água de 30% foram sintetizadas com o petróleo selecionado e água destilada. Após a pesagem, a mistura foi agitada manualmente para incorporação da fase aquosa na fase oleosa, ocorrendo assim a pré-emulsificação. A mistura pré-



emulsificada sofreu então agitação mecânica por meio de um dispersor rotor-estator a fim de reduzir o tamanho das gotas de água emulsionada (T-90 IKA Basic). A intensidade de cisalhamento aplicada foi aquela capaz de gerar emulsões com diâmetro e volume de gotas variando de 7 a 10 μm e de 8 a 12 μm , respectivamente.

Foram utilizados três líquidos iônicos de uma mesma família: bis(trifluorometilsulfoniimida) de 1-butil-3-metil-imidazólio, bis(trifluorometilsulfoniimida) de 1-metil-3-octil-imidazólio e bis(trifluorometilsulfoniimida) de 1-dodecil-3-metil-imidazólio. Eles serão respectivamente identificados neste trabalho como AG1, AG2 e AG3.

A adição dos agentes químicos se deu de duas maneiras distintas, no petróleo puro antes da síntese da emulsão e na emulsão já sintetizada. Os agentes foram aplicados em diversas concentrações (250, 500, 1000 e 2000 ppm) e logo após sua adição foi feita a homogeneização com agitação mecânica por mais 30 segundos. Essa homogeneização foi feita para ambos os modos de adição

Após a síntese, as emulsões foram caracterizadas quanto à distribuição de tamanho de gotas (DTG) e teor de água (TA). Na primeira caracterização utilizou-se da técnica de difração a laser por meio do analisador de tamanho de partículas Mastersizer 2000 (Malvern), conforme relatado em Fortuny *et al.* (2007). A segunda, por sua vez, foi desenvolvida através de titulação potenciométrica empregando reagente Karl-Fischer. Para qual utilizou-se do titulador Titrino plus 870 Metrohm equipado com eletrodo duplo de platina, seguindo procedimento ditado pela norma ASTM D4377.

A desestabilização das emulsões foi feita por centrifugação a 2000 rpm, de forma a

acelerar a separação das fases emulsionadas. Para o método de centrifugação foi adicionado cerca de 50 mL de emulsão em 4 tubos de centrifuga devidamente identificados. O tempo total da centrifugação foi de 30 minutos, mas o procedimento foi interrompido de 5 em 5 minutos para registro do volume de água separada até o fim de todo o processo de separação.

2.3 Análise de tensão interfacial

Foram realizadas medidas de tensão interfacial dos asfaltenos extraídos do petróleo estudado. Os asfaltenos foram dissolvidos em tolueno sob agitação magnética (Sigma-Aldrich, 99,9%) em concentração de 10000 ppm. Em seguida, adicionou-se o agente flocculante de asfaltenos (n-heptano, Sigma-Aldrich, 99,9%) a fim de promover a agregação destes compostos.

Em algumas soluções de asfalto em tolueno foi adicionado o mesmo agente químico (AG3) utilizado no processo de desestabilização da emulsão. Essa adição ocorreu antes do agente flocculante e na mesma concentração de asfaltenos (10000 ppm).

Nas análises foi empregado tensiômetro de gota pendente/ascendente Tracker (Teclis) disposto em mesa com controle de vibração a ar comprimido modelo 63-651 (TMC). Os parâmetros experimentais foram ajustados de maneira a conferir reprodutibilidade aos resultados. Assim, para as soluções de asfalto na ausência de agente químico a gota analisada possuía área de 35,45 cm^2 e volume de 21,07 μL . Por sua vez, a gota das soluções de asfalto e agente químico apresentaram volume de 11,53 μL e área de 23,81 cm^2 .

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO



A distribuição de tamanho de gotas (DTG) de uma emulsão água/óleo está diretamente relacionada ao seu nível de estabilidade. Assim, conforme apresenta a Figura 1, uma emulsão estável deve possuir diâmetro médio de gotas em torno de 7 μm .

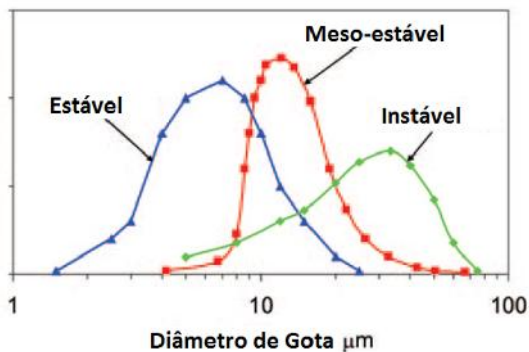


Figura 1: Curva de distribuição de tamanho de gotas. Adaptado de Petroleum Engineering Handbook, (2001)

As emulsões sintetizadas nesse estudo apresentaram diâmetro médio de gota em torno de 6 μm , como pode ser visto na Figura 2. Conferiu-se assim a estabilidade necessária às emulsões de forma a eliminar a influência do processo de desestabilização natural sobre o efeito dos agentes químicos utilizados.

A Figura 2 mostra ainda a ação dos agentes químicos, então denominados AG1, AG2 e AG3. A menor concentração utilizada (250 ppm) evidenciou o poder desmulsificante de cada composto. Como pode ser notado, todos os agentes produziram o efeito de coalescência imediatamente após a sua adição ao sistema emulsionado, porém em magnitudes variáveis.

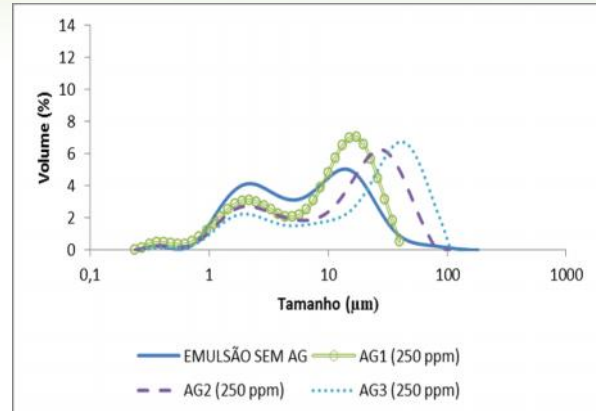


Figura 2: Curvas de distribuição de tamanho de gotas para emulsão água/óleo com e sem adição de agente químico.

Os agentes químicos utilizados possuíam estrutura molecular idêntica, variando apenas o número de átomos de carbono da cadeia lateral alquílica de C4 para AG1, C8 para AG2 e C12 para AG3. Logo, o maior comprimento de cadeia alquílica foi aquele que produziu melhor efeito de aumento de tamanho de gotas da emulsão. Assim constata-se sua maior capacidade como agente desmulsificante.

Neste cenário, buscou-se verificar a influência da variação de concentração deste agente químico mais eficiente (AG3). A Figura 3 mostra que grandes concentrações desse aditivo (2000 ppm) provocam a imediata coalescência das gotas emulsionadas e a formação de gotas grandes em maior volume.

Pode-se notar que após a adição do AG3, o diâmetro médio das gotas passou de 6 para cerca de 35 μm . Dessa forma, a emulsão estável sintetizada adquiriu caráter instável, tornando possível sua separação gravitacional desde que fornecido o tempo necessário para isso. Entretanto, isso não ocorreu na mesma



magnitude para os outros agentes químicos estudados.

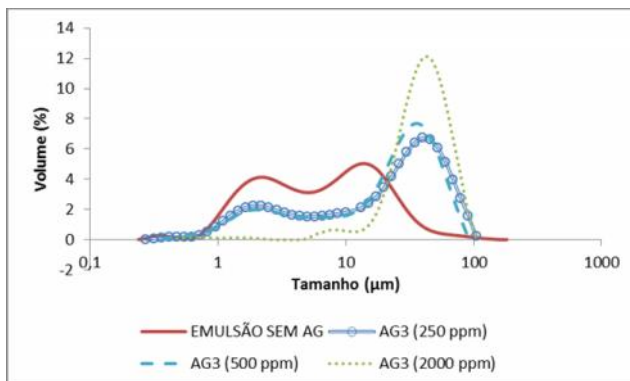


Figura 3: Curvas de distribuição de tamanho de gotas para emulsão água/óleo com e sem adição de agente químico.

Além do estudo da aplicabilidade como desemulsificante, foi analisada também a capacidade de inibição de formação de emulsão do AG3, aquele mais eficiente. Para tal, foram sintetizadas emulsões com petróleo dopado com esses agentes em concentrações distintas, como mostra a Figura 4.

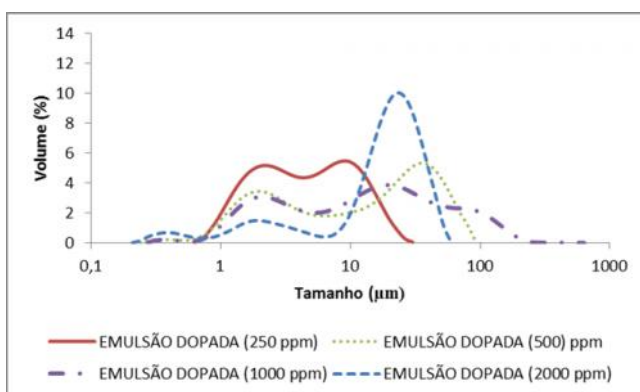


Figura 4: Curvas de distribuição de tamanho de gotas para emulsão água/óleo sintetizada com petróleo dopado com agente químico AG3.

O óleo dopado com 250 ppm de AG3 proporcionou a síntese de emulsão com

DTG semelhante àquela sintetizada na ausência do AG3. Nestas, o diâmetro médio de gotas variava em torno de 6 μm . Dessa forma denotando que nessa concentração o agente químico não interfere no potencial de geração de emulsão do petróleo estudado.

Contudo, ao aumentar a concentração de AG3 para 500 e 1000 ppm verificou-se a ocorrência de polidispersidade na DTG. Assim, nota-se na Figura 4 que houve o mesmo volume de gotas pequenas, médias e grandes, principalmente para a emulsão com 1000 ppm de AG3. Essa variação no tamanho de gotas é altamente propensa a favorecer o processo de coalescência e separação de fases.

Por fim, o diâmetro médio da emulsão sintetizada com a maior concentração de AG3 foi de 18 μm . Nota-se que apesar de aplicar-se a mesma energia de cisalhamento para todas as emulsões, o dopamento do petróleo com 2000 ppm de AG3 não permitiu a síntese de uma emulsão estável. Mesmo havendo gotas pequenas, o maior volume de gotas grandes gerou uma emulsão com caráter variando entre instável e meso-estável.

Logo, pode-se constatar que o aumento da concentração de AG3 no petróleo estudado é capaz de inibir parcialmente a formação de emulsões. Embora formadas, tais emulsões não permanecem estáveis.

O processo de desestabilização das emulsões via centrifugação comprovaram a relação entre tamanho de gotas e estabilidade. A Figura 5 apresenta a evolução da desestabilização das emulsões via centrifugação em função do



tempo. Esse diagrama apresenta o resultado obtido com a menor concentração de agente desemulsificante (250 ppm).

Assim como no estudo de estabilidade apresentado na Figura 2, a menor concentração dos agentes desemulsificantes permitiu evidenciar o potencial desemulsificante de cada agente químico. Pode-se notar que o AG3 foi o que compoisto que propiciou maior eficiência de separação. Confirma-se então que o maior tamanho de cadeia alquílica do cátion contribui para aumentar o nível de desestabilização de emulsões.

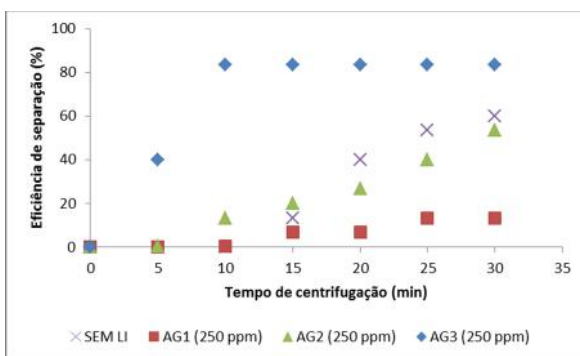


Figura 5: Eficiência de separação de emulsão via centrifugação com e sem adição de líquido iônico a concentração de 250 ppm.

A emulsão sem adição de agente químico apresentou eficiência de separação em torno de 60% após 30 minutos de centrifugação. Observou-se eficiência semelhante quando adicionado AG2 à emulsão. O AG1, por sua vez, provocou a redução da eficiência de separação.

Nota-se então que há também uma relação entre o tamanho da cadeia alquílica do líquido iônico e sua concentração ótima de desemulsificação. Essa concentração consiste naquela em que o LI desloca os tensoativos naturais

da interface óleo/água, principalmente os asfaltenos, quebra o filme interfacial e promove a separação das fases emulsionadas. Tal concentração ótima está relacionada com o potencial de atividade interfacial do agente químico.

Assim, por possuir maior atividade interfacial (Silva *et al.*, 2013), o AG3 apresentou maior eficiência de separação na concentração de 250 ppm. Porém, essa concentração está abaixo da concentração ótima para os compostos AG1 e AG2. Por esse motivo, o AG1 apresenta efeito contrário ao desejado, aumentando a estabilidade da emulsão.

O efeito da concentração foi confirmado na Figura 6. Neste caso, a concentração dos líquidos iônicos foi quadruplicada a fim de verificar o efeito da extrapolação da concentração. Dois efeitos distintos foram identificados.

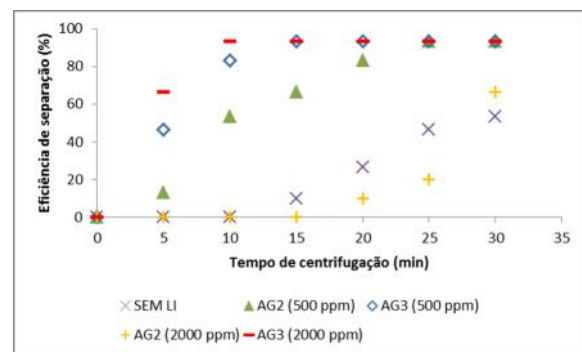


Figura 6: Eficiência de separação de emulsão via centrifugação com e sem adição de líquido iônico a concentração de 500 e 2000 ppm.

O primeiro efeito identificado foi o aumento da eficiência de separação propiciado pelo AG3 conforme aumentada a concentração de 250 ppm (Figura 5) para 500 e 2000 ppm. A melhor eficiência obtida com esse composto foi de 93% e se deu após 10 minutos de centrifugação.



O segundo efeito está relacionado ao composto AG2. Quando aumentada a concentração de 250 ppm (Figura 5) para 500 ppm, esse composto produz eficiência semelhante aquela observada para o AG3. Contudo, necessitou-se de maior tempo de centrifugação. Por outro lado, a concentração de 2000 ppm provocou estabilização da emulsão, atingindo eficiência final de 60%. Pode-se então constatar que neste caso a concentração do AG2 ultrapassa sua concentração ótima de desemulsificação.

Após ser verificada a eficiência dos líquidos iônicos estudados como desemulsificantes em potencial, passou-se a analisar sua aplicação como inibidores de formação de emulsão. A Figura 7 apresenta a eficiência de separação das emulsões sintetizadas com o petróleo dopado previamente. Nota-se comportamentos distintos para as variadas concentrações de AG3.

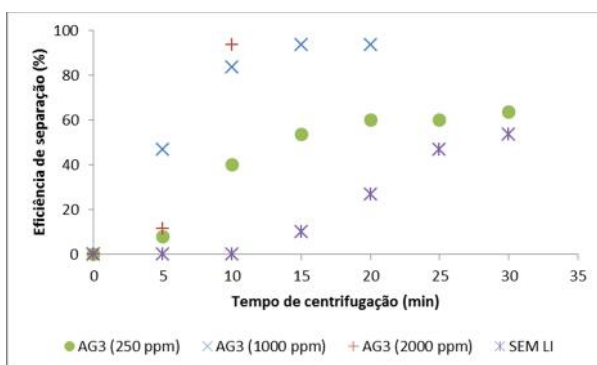


Figura 7: Eficiência de separação via centrifugação de emulsão sintetizada com petróleo dopado com líquido iônico a concentração de 250, 1000 e 2000 ppm.

A concentração de 250 ppm de AG3 apresentou eficiência de separação máxima de 63%. Tal eficiência foi menor que aquela observada quando o agente

químico foi adicionado à emulsão já sintetizada (Figura 5). No fim do processo de centrifugação, nota-se que as eficiências de separação das emulsões sintetizadas com petróleo puro e dopado com AG3 a 250 ppm são semelhantes.

Já nas concentrações de 1000 e 2000 ppm atingiu-se eficiência máxima após 10 minutos de centrifugação. Dessa forma, os resultados verificados com ambas as formas de adição de líquido iônico, antes e após a síntese da emulsão, foram semelhantes. Isso evidencia o duplo potencial de aplicação do AG3 como desemulsificante e também como inibidor de formação de emulsão.

A Figura 8 apresenta a tensão interfacial de asfalto em solução de n-heptano/tolueno próximo ao seu ponto incipiente de agregação. Como pode ser visto, a tensão inicial dos asfaltenos está em torno de 19 mN/m, estabilizando em torno de 16 mN/m. A presença de AG3 em concentração equivalente à dos asfaltenos reduziu a tensão interfacial dos asfaltenos para 13 mN/m.

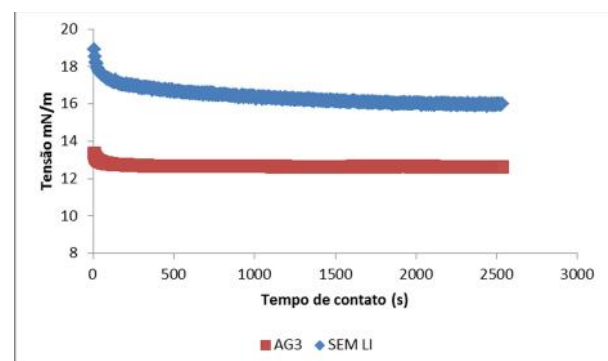


Figura 8: Tensão interfacial de asfalto em Heptol na concentração de 10000 ppm com e sem adição de AG3 na mesma concentração.



Essa redução da tensão interfacial dos asfaltenos pelo líquido iônico comprova a interação entre essas duas espécies. Embora sejam necessários estudos mais aprofundados, pode-se constatar que essa interação é capaz de alterar as propriedades tensoativas dos asfaltenos. Tal alteração é a causa da desestabilização das emulsões provocadas pelos agentes químicos apresentados neste trabalho. Logo, abre-se a perspectiva para o desenvolvimento de um composto químico capaz de inibir a agregação de asfaltenos e, por esse motivo, inibir e/ou remediar a formação de emulsões estáveis de petróleo.

4. CONCLUSÕES

Constatou-se a eficácia da aplicação de determinados líquidos iônicos como desemulsificantes e inibidores de formação de emulsão. O tamanho da cadeia alquílica do cátion e sua concentração são fatores preponderantes para que ocorra a separação eficiente das fases emulsionadas.

O composto AG3 é capaz de reduzir o potencial emulsificante dos asfaltenos no petróleo. Isso ocorre provavelmente devido a redução no nível de agregação dos asfaltenos provocado pela sua interação com os líquidos iônicos. Contudo, estudos mais aprofundados estão sendo desenvolvidos para confirmar essa hipótese.

Embora os átomos presentes na composição dos líquidos iônicos utilizados neste trabalho sejam potenciais contaminantes do petróleo, sua aplicação atual é um meio para um fim. Para superar a potencial contaminação, pode-se fazer substituições na estrutura

molecular do composto mantendo-se as propriedades necessárias para sua aplicação então proposta.

Por fim, constata-se a urgente necessidade de integração dos estudos relacionados à agregação dos asfaltenos e o potencial de formação de emulsão de petróleos. Dessa forma, pode-se otimizar o desenvolvimento de técnicas de inibição e remediação dos problemas gerado por ambos os fenômenos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, M. F.; ALQAM, M. H. **The role of asphaltenes, resins and other solids in the stabilization of water in oil emulsions and its effects on oil production in Saudi oil fields.** Fuel, 79, p. 1309-1316, 2000.

ANOUTI, M. CAILLON-CARAVANIER, M. LE FLOCH, C. LEMORDANT, D. **Alkylammonium-Based Protic Ionic Liquids. II. Ionic Transport and Heat-Transfer Properties Fragility and Ionicity Rule.** Journal of Physical Chemistry B, 112, p. 9412-9416, 2008.

BORGES, B.; RONDON, M.; SERENO, O.; ASUAJE, J. **Breaking of Water-in-Crude-Oil Emulsions. 3. Influence of Salinity and Water-Oil Ration on Demulsifier Action.** Energy Fuels, 23, p. 1568-1574, 2009.

BOUKHERISSA, M.; MUTELET, F.; MODARRESSI, A.; DICKO, A.; DAFRI, D.; ROGALSKI, M. **Ionic Liquids as Dispersants of Petroleum Asphaltene.** Energy and Fuels, 23, p. 2557-2564, 2009.



CZARNECKI, J. **Stabilization of Water in Crude Oil Emulsions**. Part 2. *Energy & Fuels*, 23, p. 1253-1257, 2009.

FORTUNY, M.; OLIVEIRA, C. B. Z.; MELO, R. L. F. V.; NELE, M.; COUTINHO, R. C. C.; SANTOS, A. F. **Effect of Salinity, Temperature, Water Content, and pH on the Microwave Demulsification of Crude Oil Emulsions**. *Energy and Fuels*, 21, p. 1358-1364, 2007.

FORTUNY, M.; RAMOS, A. L. D.; DARIVA, C.; EGUES, S. M. S.; SANTOS, A. F. **Principais aplicações das microondas na produção e refino de petróleo**. *Química Nova*, 31(6), p. 1553-1561, 2008.

GAFONOVA, O. V.; YARRANTON, H. W. **The Stabilization of Water-in-Hydrocarbon Emulsions by Asphaltenes and Resins**. *Journal of Colloid and Interface Science*, 241, p. 469-478, 2001.

GUZMÁN-LUCERO, D.; FLORES, P.; ROJO, T.; MARTÍNEZ-PALOU, R. **Ionic Liquids as Demulsifiers of Water-in-Crude Oil Emulsions: Study of the Microwave Effect**. *Energy & Fuels*, 24, p. 3610-3615, 2010.

HALLET, J. P.; WELTON, T. **Room-Temperature Ionic Liquids Solvents for Synthesis and Catalysis**. 2. *Chemical Reviews*, 111, p. 3508-357, 2011.

MOHAMMADI, A. H.; ESLAMIMANESH, A.; GHARAGHEIZI, F.; RICHON, D. **A novel method for evaluation of asphaltene precipitation titration data**. *Chemical Engineering Science*, 78, p. 181-185, 2012.

SPIECKER, P. M.; KILPATRICK, P. K. **Interfacial Rheology of Petroleum Asphaltenes at the Oil-Water Interface**. *Langmuir*, 20, p. 4022-4032, 2004.

STEWART, M.; ARNOLD, K. **Emulsions and Oil Treating Equipment**. Elsevier, Inc. 2009.

SULLIVAN, A. P.; KILPATRICK, P. K. **The Effects of Inorganic Solid Particles On Water and Crude Oil Emulsion Stability**. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 41, p. 3389-3404, 2002.

VAN RANTWIJK, F.; SHELDON, R. A. **Biocatalysis in Ionic Liquids**. *Chemical Reviews*, 107, p. 2757-2785, 2007.

WANG S.; LIU, J.; ZHANG, L.; MASLIYAH, J.; XU, Z. **Interaction Forces between Asphaltene Surfaces in Organic Solvents**. *Langmuir*, 26 (1), p. 183-190, 2010.

MAQBOOL, T.; SRIKIRATIWONG, P.; FOGLER, H. S. **Effect of Temperature on the Precipitation Kinetics of Asphaltenes**. *Energy and Fuels*, 25, p. 694-700, 2011.

YANG, X.; VERRUTO, V. J.; KILPATRICK, P. K. **Dynamic Asphaltene-Resin Exchange at the Oil/Water Interface: Time-Dependent W/O Emulsion Stability for Asphaltene/Resin Model Oils**. *Energy & Fuels*, 21, p. 1343-1349, 2007.

YARRANTON H.W.; HUSSEIN, H.; MASLIYAH, J. H. **Water-in-Hydrocarbon Emulsions Stabilized by Asphaltenes at Low Concentrations**. *Journal of Colloid and Interface Science*, 228, p. 52-63, 2000

**I Congresso Nacional de Engenharia de
Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**
III Workshop de Engenharia de Petróleo

