

SÍNTESE E APLICAÇÃO DE UM TENSOATIVO COM FUNÇÃO EPÓXI NA INIBIÇÃO DA CORROSÃO EM OLEODUTOS

Alcides de Oliveira Wanderley Neto¹, Tereza Neuma de Castro Dantas¹, Everlane Ferreira Moura¹, Hélio Scatena Júnior¹ e Afonso Avelino Dantas Neto²

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Departamento de Química¹ (DQ) / Departamento de Engenharia Química² (DEQ), Campus Universitário, Lagoa Nova – 59078-970 – Natal – Brasil.
email: alcides@quimica.ufrn.br

A indústria do petróleo tem grandes problemas com o fenômeno da corrosão presente em campos de petróleo, um exemplo é a corrosão em oleodutos, que é causado devido à alta salinidade e à presença de gases dissolvidos na água de produção. Se não houver nenhum tipo de prevenção, esta salmoura, em contato com a superfície do metal, desencadeia tal fenômeno, aumentando assim, a velocidade de reação de óxido-redução e, conseqüentemente, o desgaste da superfície metálica, num intervalo de tempo bem menor. O rompimento de um oleoduto causa não só uma paralisação no processo de transporte do óleo, como também, danos irreparáveis ao meio ambiente, além de prejuízos de milhares de dólares. A injeção de inibidores de corrosão em diferentes pontos nas tubulações de oleodutos tem minimizado a corrosão interna. Os tensoativos, com sua capacidade de se adsorver em interfaces líquido-sólido, vêm sendo amplamente empregados na proteção de equipamentos de ferro e aço. Estas moléculas formam filmes derivados do ácido ricinoleico presente no óleo de mamona, podendo ser monocamadas, antes da CMC, ou multicamadas, com concentrações a cima da CMC. Neste trabalho sintetizou-se um novo tensoativo, 9,10-epox-12-hidroxi-octadecenoato de sódio (EOS), o qual foi investigado quanto ao seu poder de inibição da corrosão em aço carbono API5LX Gr X42 em meios salinos, 0,5 M e 1,0 M de NaCl, variando-se a temperatura de 30 °C e 60 °C, onde todas as medidas foram realizadas borbulhando oxigênio. Para estudar a eficiência da inibição utilizou-se um potenciostato/galvanostato provido de microprocessador e programa computacional 352Corr-III, da PAR&EGG, que gerencia o aparelho onde o armazenamento dos valores de variação da corrente de corrosão obtidos é feito através do programa do computador. Os resultados deste estudo apresentaram bons valores de eficiência na inibição da corrosão em superfície metálica, chegando a atingir percentuais de eficiência de 90%. Esses valores de eficiência foram atingidos a baixas concentrações, $2,5 \times 10^{-2}$ mol/L, conseguindo manter a eficiência constante mesmo quando são realizadas diluições até valores na ordem de 10^{-4} . Este comportamento é bem adequado às condições de aplicação, pois o inibidor em linhas de fluxos é diluído naturalmente. O estudo das isotermas mostrou que o modelo de Frumkin se adapta melhor aos resultados, devido ao fator do parâmetro lateral. Os bons resultados oferecem alternativas para controlar o fenômeno da corrosão em oleodutos além de agregar valores comerciais a matérias primas regionais da região nordestina brasileira.

petroleum, corrosion, pipelines, corrosion inhibitor e surfactant

1. INTRODUÇÃO

O aço carbono é freqüentemente usado em fabricação de linhas de dutos para o uso na indústria do petróleo, e a presença de eletrólitos e gases dissolvidos na água de formação torna o meio bastante corrosivo. A exploração do petróleo produz não só o óleo bruto, mas uma grande quantidade de água, que tem uma acidez, salinidade e temperatura específica para cada reservatório. O transporte deste fluxo é feito através de linhas de dutos que é constituído de aço-carbono, onde o contato direto do meio aquoso com a superfície metálica acelera o fenômeno da corrosão. O rompimento de um oleoduto causa problemas operacionais e ambientais proporcionando prejuízos à empresa do setor. Para solucionar tal problema, tem-se injetado inibidores de corrosão através de diferentes locais do duto, onde se destacam os inibidores orgânicos, e em especial as moléculas tensoativas. Estas moléculas, devido ter dupla afinidade em sua estrutura, têm a propriedade de se adsorver em interfaces líquido/sólido. Os tensoativos têm sido amplamente usados como anticorrosivos em metais e ligas na limpeza e conservação dos processos, onde se destacam os tensoativos derivados de óleos vegetais, como o óleo oléico e maleico. Pensando nisso, este trabalho vem mostrar, também, a potencialidade do óleo de mamona, pois neste óleo se encontra o ácido ricinoleico com 90% da mistura. Os tensoativos têm se destacado devido obter valores de eficiência máxima a baixas concentrações, pois a partir da concentração micelar crítica (CMC) a eficiência na inibição da corrosão continua constante. Em sistemas líquido/sólido a cabeça polarizada se adsorve na superfície metálica enquanto a cadeia hidrocarbônica fica voltada para a fase líquida, onde formará um filme interfacial que dependendo da concentração do tensoativo no meio, poderá formar monocamada ou multicamadas. Neste trabalho o objetivo é obter um novo tensoativo com função epóxi a

partir do ácido ricinoleico. Sendo o 9,10-epóxi-12 hidroxiocetadecanoato de sódio (SEAR), que será estudado quanto a sua capacidade de se adsorver em interface líquido/sólido variando a salinidade (NaCl a 0,5 M e 1,0 M) e temperatura (30 °C e 60 °C).

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 – Inibidores de corrosão

Dentre as diversas formas de controle da corrosão, o uso de inibidores tem sido uma das mais eficientes e, portanto, mais largamente usada pela indústria do petróleo. Sendo assim, os tensoativos à base de compostos aminados são injetados com fluidos de perfuração em poços de petróleo para evitar a corrosão em hastes, bombas e tubulações de aço. Em caldeiras, são usados para inibir a ação do ácido clorídrico, durante a solubilização e remoção de incrustações calcáreas nas tubulações metálicas (Gentil, 1996).

Os tensoativos aminados e seus derivados têm sido investigados na inibição da corrosão de ferro e aço em meio ácido, tais como as aminas aromáticas por Banerjee e Malhotra (1992), as N-alquilbetainas por Hajjaji *et al.* (1993), a série brometos de 2-(alquildimetilamônio) alcanóis por El Alchouri *et al.* (1995), a anilina e as alquilaminas por Luo *et al.* (1998), o cloreto de N,N,N-dimetil-4-metilbenzil dodecilamônio por Abdel Hamid *et al.* (1998), os sais de N-alquil quaternário de amônio por Branzoi *et al.* (2000), e a série dos brometos 1,2-etano bis(dimetilalquil (C_nH_{2n+1}) amônio por El Alchouri *et al.* (2001), e em todos os casos, independente do meio corrosivo, a eficiência de inibição aumenta com a concentração de tensoativo no meio, atingindo um máximo sempre próximo à concentração micelar crítica CMC.

Os efeitos de alguns tensoativos não iônicos, como os polietoxilados, têm sido bastante estudados como inibidores de corrosão para aço doce em meio leve ácido (Osman *et al.*, 1997; Hanna *et al.*, 1998 e Osman e Shalaby, 2001). Muitos autores estudaram o efeito de sais de amônio quaternário como inibidores de corrosão (Schweinsberg e Ashworth 1998; Vasudevan *et al.*, 1995; Osman, 1998; Quinlan, 1983 e Ferreira Moura, 2002).

A complexidade do processo que ocorre na superfície de um metal, durante ação dos inibidores, é percebida através de dados experimentais, por exemplo, o grau de eficiência de proteção da corrosão depende de tais fatores: estrutura da molécula, condições experimentais e natureza do metal (Rocha *et al.*, 1996; Costa e Lluch, 1984).

Banerjee e Malhotra (1992) estudaram o mecanismo de adsorção de aminas aromáticas sobre a superfície do aço doce em meio ácido (HCl), usando impedância, UV e espectroscopia de Raman. De acordo com o estudo verificou-se que, quando o aço é imerso em solução diluída de HCl contendo anilina, três classes de espécies podem ser adsorvidas na superfície metálica:

1. Se a superfície do metal é positivamente carregada com relação ao potencial de carga zero, **pzc**, íons cloretos (Cl^-) podem ser adsorvidos primeiramente na superfície do metal, seguido do ataque do íon anilínio e moléculas de água protonadas, formando uma tripla camada protetora. Neste caso, o aumento da carga positiva do metal favorece a adsorção da anilina.
2. Se a superfície do metal é carregada negativamente com relação ao **pzc**, as moléculas de água protonadas e íons anilínio podem ser diretamente adsorvidos na superfície metálica. Com o aumento da carga negativa na superfície do metal, a adsorção da anilina cresce e sua concentração na solução diminui.
3. Quando se atinge o **pzc**, nenhum íon é adsorvido na superfície metálica, portanto, umas poucas moléculas de anilina são fisicamente adsorvidas de forma planar através de suas ligações π .

El-Achouri *et al.* (1995), quando estudaram a série dos sais de brometo de 2-(alquildimetilamônio) álcool como inibidores de corrosão do ferro em solução de HCl, também verificaram três formas distintas de adsorção das espécies inibidoras, baseados no comportamento das curvas de eficiência de inibição em função da concentração dos inibidores. Eles concluíram que: (i) em baixas concentrações, quando predominam tensoativos monoméricos sobre a superfície ativa do metal, a adsorção ocorre por interações entre o grupo N^+ do tensoativo monomérico e os sítios catódicos na superfície do metal, e a eficiência é muito baixa; (ii) em concentrações próximas à CMC, a eficiência aumenta rapidamente devido à formação de semi-micelas e interações interhidrofóbicas; (iii) na CMC, região de maior eficiência, há formação de uma camada protetora bimolecular na superfície do metal, como descreve Hajjaji *et al.* (1993).

2.2 – Mecanismo de ação dos inibidores

O mecanismo de ação dos inibidores está associado à adsorção de moléculas, sobre a superfície metálica, por meio de interações físicas ou químicas (Hackerman e Snively, 1966). A adsorção física é gerada por forças eletrostáticas ou de van der Waals entre a espécie inibidora e a superfície metálica. Essas interações físicas ocorrem rapidamente mais são facilmente rompidas por variações da energia ambiente. Na adsorção química, ou quimissorção, ligações são rompidas ou formadas entre as espécies ativas e a superfície do metal, com calor de

adsorção da mesma ordem das variações de entalpia de reação química, variando de alguns quilojoules até aproximadamente 400 kJ. Essas interações ocorrem lentamente por fortes ligações, com transferência ou compartilhamento de elétrons, com alta energia de ativação (Trabanelli e Carassiti, 1970).

A extensão do processo de inibição da corrosão depende do comportamento da dupla camada elétrica, da natureza dos grupos funcionais e da estrutura molecular dos inibidores. Um modelo rudimentar, para adsorção de simples moléculas orgânicas sobre a superfície de Hg, envolve somente forças eletrostáticas sobre a dupla camada elétrica, onde a curva de fração recoberta, θ , em função da concentração forma uma parábola acerca do potencial de carga zero, **pcz**, havendo, portanto uma dependência entre θ e o potencial (Bockris *et al.*, 1967). Anand *et al.* (1965) e Carrasiti *et al.* (1970), enfatizam uma correlação entre inibidores e área projetada de compostos arranjados paralelamente à superfície eletródica. Este tipo de interação foi observado com compostos aromáticos sobre a superfície metálica devido às ligações π do anel aromático.

Muitos compostos orgânicos são adsorvidos especificamente assumindo um mecanismo de orientação da adsorção. Evidências para a especificação de muitos inibidores e suas variadas posições (Rolle e Schulze, 1986) podem ser dadas pela adsorção da tiouréia sobre o ferro em meio ácido (Uhlig e Revie, 1985). Hackerman e Hurd (1962) e Finley e Hackerman (1960) sugeriram que a disponibilidade dos elétrons e as características dos orbitais seriam os responsáveis pelo mecanismo de adsorção de moléculas de aminas de cadeia curta. Observa-se, portanto, que a densidade de elétrons dos compostos orgânicos tem fundamental importância no processo de adsorção do inibidor sobre a superfície metálica, tal que, compostos orgânicos contendo heteroátomos como N, O, P e S, bem como ligações triplas ou anéis aromáticos em sua estrutura molecular, são bastante difundidos como inibidores de corrosão (El-Achouri *et al.*, 1995).

3. METODOLOGIA

3.1 – Hidrólise básica

A hidrólise é realizada em um balão de reação acoplado a um condensador de refluxo, onde se coloca 30g de óleo de mamona e adiciona-se 6g de hidróxido de potássio (KOH) e 60ml de álcool etílico. Após reagir durante 2 horas, a solução foi resfriada. Na qual é transferida para um funil de decantação, onde é lavada cuidadosamente com água para evitar a formação de emulsão e em seguida é controlado o pH adicionando solução de ácido sulfúrico a 30%, até atingir o pH do ácido ricinoleico que está entre 4,0 e 5,0; garantindo que haja a liberação completa do ácido graxo do sal alcalino. Após o processo de lavagem obtém a separação das fases, onde a parte sobrenadante passará por um processo de secagem utilizando o sulfato de sódio anidro, com o objetivo de retirar pequenas gotas de água presas na mistura dos ácidos graxos.

3.1.1 – Fracionamento e purificação do ácido graxo

A purificação do ácido graxo insaturado foi realizada pela técnica de cristalização fracionada a baixas temperaturas (Soares *et al.* 1998; Araújo, 1994). O rendimento obtido foi de 83% para o AR.

Técnica de cristalização fracionada com acetona

Em um erlenmeyer coloca-se 20g da mistura de ácidos graxos (após obtenção pela hidrólise) e acrescenta 80ml de acetona, onde posteriormente foi colocado num freezer. Após 24 horas em repouso, devido o abaixamento da temperatura, há formação de cristais de alguns ácidos graxos, nos quais são filtrados e separados a partir da diferença dos respectivos pontos de fusão (P.F): ácido ricinoleico (P.F.= -1 °C a 3°C), ácido linoleico (P.F.= 5°C), ácido oleico (P.F.= 16°C) e ácido esteárico (P.F.= 70°C). O ácido ricinoleico (AR) foi separado em alto grau de pureza, o qual foi verificado por comparação com uma amostra padrão, em cromatografia de camada delgada utilizando vários eluentes. Os demais ácidos graxos líquidos (oleico e linoleico), os quais foram obtidos em percentuais mínimos, não foram motivos de estudo neste trabalho.

3.2 – Preparação do epóxido do ácido ricinoleico (EAR)

Após obtenção do ácido ricinoleico realizou-se uma reação de epoxidação, com o intuito de adicionar na estrutura hidrocarbônica do ácido graxo o grupo epóxi. Para tal processo reativo, dividiu-se o estudo em duas etapas:

Primeira etapa:

O ácido peracético foi obtido a partir da reação direta do anidrido acético com o peróxido de hidrogênio, no qual se utilizou um balão de reação colocando-se o anidrido acético e foi adicionando-se lentamente o peróxido de hidrogênio sob agitação constante, tendo 24 horas de duração.

Segunda etapa

A preparação do epóxido do ácido ricinoleico (EAR) foi feita num balão de reação, onde se colocou do ácido ricinoleico e adicionaram-se aos poucos de ácido peracético, a reação ocorre sob agitação durante 3 horas. Após obtido o epóxido, a mistura é transferida para um funil de separação, no qual retira o excesso do ácido peracético lavando-se com água até o pH ficar entre 4,5 e 5 (pH do ácido ricinoleico). Em seguida separam-se as fases e o epóxido é filtrado com sulfato de sódio anidro para retirar pequenas gotículas de água.

3.3 – Saponificação do óleo de mamona

Esta etapa do trabalho consiste em saponificar os compostos. Os compostos epoxidados são submetidos à saponificação para facilitar sua solubilização em solução aquosa, para que se possam realizar estudos de adsorção em interfaces fluidas e sólido-líquido. A técnica de saponificação envolve uma reação estequiométrica entre a amostra de ácido graxo com seus n grupos saponificáveis, correspondente a n vezes a quantidade do álcali.

3.4 – Curvas de polarização

O fenômeno da adsorção em interface líquido-sólido é estudada e determinada a partir de medidas realizadas na interface do metal. Para tal estudo, observa-se o comportamento eletroquímico de um metal num potencial de eletrodo diferente do potencial de corrosão. É usada a técnica de varredura potenciodinâmica para determinação das correntes de corrosão por curvas de Tafel experimentais, além da investigação do comportamento corrosivo na superfície do eletrodo de aço-carbono em presença dos inibidores microemulsionados e comparados aos tensoativos em solução corrosiva, através da determinação das correntes de corrosão em cada sistema usado como meio corrosivo.

Para impor experimentalmente a um eletrodo um potencial de eletrodo diferente do de corrosão é preciso lançar mão de fontes externas de potencial. Neste. Um controle adequado do potencial de eletrodo é conseguido com um *potenciostato*, através do qual é possível, além de impor ao eletrodo o potencial desejado com relação ao eletrodo de referência, também medir a corrente de polarização e inclusive, registrá-la em função do potencial por meio de um registrador. Pode-se assim, obter as *curvas de polarização experimentais*, que representam o potencial de eletrodo aplicado e a correspondente corrente medida no potenciostato. A Figura 1 ilustra esquematicamente um arranjo para o levantamento dessas curvas de polarização por meio de um potenciostato.

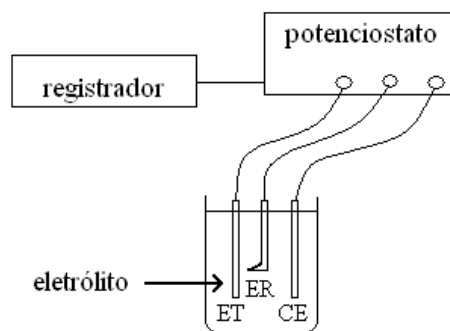


Figura 1 - Arranjo esquemático para levantamento de curvas de polarização. ET = eletrodo de trabalho; ER = eletrodo de referência; CE = contra-eleto.

Na Figura 3.1, o eletrodo de referência localiza-se dentro de um capilar, cuja extremidade capilar é mantida o mais próximo possível da superfície do eletrodo de trabalho. Isto é importante, pois como durante o levantamento das curvas de polarização se tem um fluxo de corrente entre o eletrodo de trabalho e o contra-eleto, se estabelece um gradiente de potencial entre ambos e o valor do potencial de eletrodo passa a ser efetuado pela posição da extremidade do capilar.

O potenciostato é um equipamento eletrônico cuja principal característica é a capacidade de impor ao eletrodo de trabalho o potencial de eletrodo desejado. Seus detalhes construtivos podem ser encontrados na literatura.

A polarização de um eletrodo por meio de um potenciostato conduz ao levantamento de uma curva de polarização que não é mais representativa da polarização de uma única reação, mas, do efeito global de todas as reações que ocorrem simultaneamente sobre o eletrodo.

3.5 – Isotermas de adsorção

As isotermas foram determinadas de dois modos. No caso das medidas eletroquímicas, as frações de cobertura, θ , foram encontradas através da relação:

$$\theta = \frac{i_{\text{corr},I} - i_{\text{corr},0}}{i_{\text{corr},I}} \quad (1)$$

Na qual $i_{\text{corr},I}$ e $i_{\text{corr},0}$, significam correntes de corrosão com e sem o inibidor, respectivamente. Quando a fração de cobertura é dada em percentagem ela foi chamada de eficiência para haver compatibilidade com a literatura. Para estas medidas as isotermas de adsorção foram determinadas aproximando, com auxílio de um método número simplex não-linear, as frações de cobertura teóricas as frações de cobertura observadas.

A aproximação das frações de cobertura teóricas e observadas encontradas eletroquimicamente foi por recorrência à função objeto:

$$\delta\theta = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\theta_{\text{obs},i} - \theta_{\text{calc},i}}{\theta_{\text{obs},i}} \right)^2 \quad (2)$$

Na qual N é o número de diferentes concentrações do inibidor e os índices *obs* e *cal* significam observada e calculada, respectivamente.

4. RESULTADOS

Os sistemas inibidores foram estudados para explicar o fenômeno da adsorção em interface líquido-sólido a partir de medidas de corrente de corrosão, usando-se isotermas de adsorção de Langmuir e Frumkin para relacionar a adsorção superficial à concentração do tensoativo no meio aquoso, variando a salinidade e temperatura dos sistemas puros e microemulsionados, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros físico-químicos para adsorção em interface líquido-sólido.

Sistema	Condição	K_F	A	$\delta\Theta_F$	K_L	$\delta\Theta_L$
Tensoativo	0.5 – 30	7.86×10^{10}	23.4	8.31×10^{-3}	425	0.01
Tensoativo	0.5 – 60	3.06×10^{20}	53.9	1.80×10^{-2}	245	0.18
Tensoativo	1.0 – 30	3.61×10^{13}	32.7	2.16×10^{-2}	286	0.15
Tensoativo	1.0 – 60	1.90×10^{22}	60.2	6.07×10^{-3}	206	0.20

Os valores de $\delta\Theta$ mostram que o desvio dos dados experimentais para o teórico é menor quando se aplica a isoterma de Frumkin, validando matematicamente este modelo como o que melhor representa os dados dos sistemas puros e micros no fenômeno da adsorção em interface líquido-sólido. Os valores da constante K , para os dois modelos aplicados, têm maiores valores para a isoterma de Frumkin, mostrando que a adsorção das moléculas tensoativas na superfície do metal acontece formando multicamadas. As mais comuns interações incluem processos de troca iônica em que contra-íons do substrato são substituídos por íons do tensoativo de carga similar; formando-se ligações entre as moléculas do adsorvente e adsorvido e interações de emparelhamento de íons, nos quais íons do tensoativo são adsorvidos sobre sítios opostamente carregados e não ocupados pelos contra-íons. Este fenômeno de adsorção gera um grande campo de cargas envolvendo a interface, fazendo os valores do parâmetro de interação lateral dar positivos, sugerindo uma interação de repulsão. Mas neste processo, o efeito preponderante é a interação de atração entre as moléculas tensoativas com a superfície metálica, formando um filme protetor e conseqüentemente inibindo a corrosão.

4.1 Eficiência dos sistemas inibidores de corrosão

Os resultados de eficiência de inibição são avaliados por dados experimentais de densidades de corrente de corrosão, obtidas através das curvas de Tafel variando a concentração dos sistemas inibidores no meio corrosivo (El-Achouri *et al*, 1995). Na Figura 4 são apresentados os dados observados da eficiência em função do logaritmo da concentração do inibidor e as linhas retas são os dados teóricos obtidos da isoterma de Frumkin e não linhas de tendências.

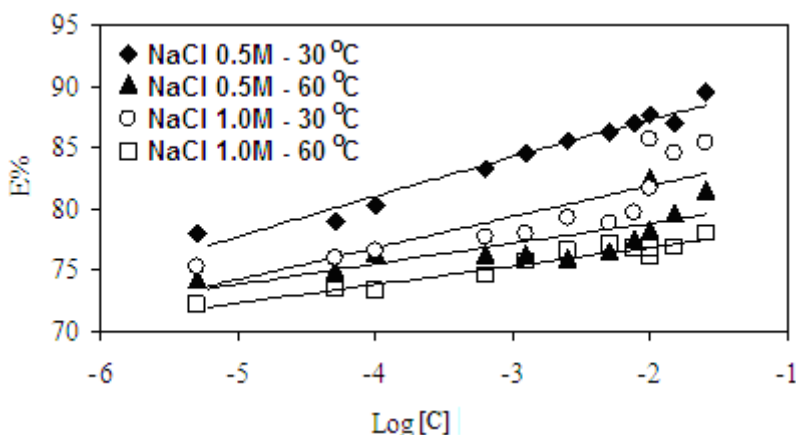


Figura 2 – Eficiência do SEAR em: ♦ solução de NaCl 0,5M a 30 °C. O ○ NaCl 1,0M a 30 °C. O ▲ NaCl 0,5M a 60 °C e □ NaCl 1,0M a 60 °C. Para os dados teóricos sempre foi usado —

Observa-se que o tensoativo, nas diferentes situações, se comportam como bons inibidores de corrosão, pois apresentam altos valores de eficiência (Figura 2). Os resultados quantitativos mostram que o tensoativo atinge altos valores de eficiência mesmo estando numa concentração de 10^{-6} mol/L. O aumento da eficiência é observado quando se aumenta a concentração do inibidor, mas diminui com o aumento da temperatura (Sayed *et al*, 2002). Em um ambiente contendo cloreto, a corrosão por pite é fortemente influenciada pela temperatura, pois esta aumenta a mobilidade iônica, mesmo admitindo que teores limites de cloreto devam ser menores com o aumento da temperatura (Oswaldo Cascudo, 1996). Na presença de cloreto-livre em solução, a corrosão do aço fica mais uniforme quando as temperaturas e concentração de cloretos estão mais altas (Heusler *et al*, 1990). Agentes agressivos como os íons cloretos contribuem sensivelmente para acelerar a corrosão, uma vez que aumenta de forma significativa a condutividade elétrica do eletrólito, diminuindo a resistência do metal. Os íons Cl^- são adsorvidos na superfície metálica em competição com o oxigênio dissolvido ou com íons hidroxila, promovendo a hidratação dos íons metálicos, facilitando a sua dissolução. Os íons cloreto competem com os íons hidroxila (OH^-) para produção de íons ferrosos pela corrosão, formando-se um complexo solúvel de cloreto de ferro. Este pode difundir-se a partir das áreas anódicas destruindo a camada protetora de $\text{Fe}(\text{OH})_2$ e permitindo a continuação do processo corrosivo. Portanto, é evidente a ação dielétrica dos cloretos, aumentando substancialmente a condutividade elétrica do eletrólito, acelerando o processo, além de participarem das reações para formação dos produtos de corrosão. Além de que, deve-se essencialmente aos cloretos a ocorrência da corrosão localizada por pite (Oswaldo Cascudo, 1996). É importante observar que a presença do oxigênio no meio contribui para o aumento do fenômeno da corrosão, sendo aquele necessário para a formação de ferrugem. A reação catódica é a redução de oxigênio, a qual possibilita o consumo de elétrons provenientes das áreas anódicas, além de produzir o radical $\text{OH}^\cdot$ que irá reagir com íons de ferro para formar os produtos de corrosão.

5. CONCLUSÃO

A utilização de sistemas inibidores a base de tensoativo tem obtido resultados de eficiência bastante significativos, chegando a atingir valores próximos de 90%, mostrando que grupos funcionais presentes na estrutura da molécula, assim como outros grupos adquiridos a partir de síntese são alternativas para solucionar o problema da corrosão, que está presente na indústria do petróleo e em específico nos oleodutos. Os resultados deste trabalho indicam que é possível inovar no controle da corrosão aplicando um novo tensoativo com função epóxi, derivado do óleo de mamona, matéria-prima da região Nordeste do Brasil. Pelos dados da Figura 2 se observa que nas condições impostas, variação de salinidade e temperatura, o tensoativo SEAR apresenta valores quantitativos significantes.

6. AGRADECIMENTOS

Este trabalho teve o suporte do Laboratório de Tecnologia de Tensoativos, Departamento de Química da UFRN, e da ANP-PRH14 (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Brasil).

7. REFERÊNCIAS

- ABDEL HAMID, Z.; SOROR, T. Y.; EL-DAHAM, H. A.; OMAR, A. M. A. *Anti-corrosion Methods and Materials*, 45, 5, 306 (1998).
ANAND, R. R.; HURD, R. M.; HACHERMANN, N. J. *Electrochem Soc.*, 112, 138 (1965).

- BANERJEE, G.; MALHOTRA, S. N. *Corrosion*, 48, 1, 10-15 (1992).
- BOCKRIS, J. O'M.; GILEADI, E.; MULLER, K. *Electrochim. Acta*, 12, 1301 (1967).
- BRANZOI, V.; BRANZOI, F.; BAIBARAC, M. *Materials Chemistry and Physics*, 65, 3, 288-297 (2000).
- CARRASITI, V.; ZUCCHI, F.; TRABANELLI, G. *Annales Universita Ferrara*, Ser. n.5, p.525 (1970).
- COSTA, J. M.; LLUCH, J. M. *Corrosion. Sci.*, 24, 11/12, 929-933 (1984).
- EL-ACHOURI, M.; HAJJIM, S.; KERTIT, S.; ESSASSI, E.M.; SALEM, M.; COUDERT, R. *Corrosion Sci.*, 37, 3, 381-389 (1995).
- EL-ACHOURI, M.; INFANTE, M. R.; IZQUIERDO, F. KERTIT, S.; GOUTTAYA, H. M.; NCIRI, B. *Corrosion Sci.*, 43, 19-35 (2001).
- FERREIRA MOURA, E., Síntese de Novos Tensoativos Aminados Derivados do Óleo de Mamona e Estudo de Soluções Micelares e Microemulsionado na Inibição de Corrosão em Aço-Carbono. Tese de Doutorado, UFRN, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Natal/RN, Brasil (2002).
- FINLEY, H. F.; HACKERMAN, N. J. *Electrochem. Soc.*, 107, 259 (1960).
- HACKERMAN, N.; HURD, R. M. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONGRESS METALLIC CORROSION, Butterworths, London, p.166 (1962).
- HACKERMAN, N.; SNAVELY, E. S. *Fundamentals of inhibitors*. Basic Corrosion Course, NACE – National Association of Corrosion Engineers, pp.9.1-9.25 (1966).
- HANNA, F.; SHERBINI, G.M.; BEREKAT, Y., Eng. Mater 1, 20 (1998).
- HAJJAJI, N.; RICO, I.; SRHIRI, A. LATTES, A.; SOUFIAOUI, M.; BEM BACHIR, A. *Corrosion Sci.*, 49, 4, 326-334 (1993).
- HEUSLER, K. E.; HUERRA, D., Journal Electrochemistry Society, 136, 65 (1990).
- LUO, H.; GUAN, Y. C.; HAN, K. N. *Corrosion*, Houston: NACE, 54, 2, 721-731, Sep (1998).
- OSMAN, M. M.; SCHALABY, M. N., Materials Chemistry and Physics 77 (2002).
- OSMAN, M.M., Anti-Corros. Meth. Mater. 45, 176 (1998).
- OSMAN, M. M.; OMAR, A. M. A.; AL-SABAGH, A. M., Mater. Chem. Phys. 50, 271 (1997).
- OSWALDO CASCUDO, O controle da corrosão de armaduras em concretos, São Paulo (1996).
- QUINLAN, P. M., Us Patent 4316007 (1993).
- ROCHA, M. S.; KOSHUN IHA; IHA, M. E. V. S. In: 2nd NACE LATIN AMERICAN REGION CORROSION CONGRESS, 1996. *Anais...* Texas, Dalas, Setembro (1996).
- ROLLE, D.; SCHULZE, J. W. *Electrochim. Acta*, 31, 991 (1986).
- SAYED, S. A. EL R., HAMDI H. H., MOHAMMED A. A., Materials Chemistry and Physics, 78, 337-348 (2002).
- SCHWEINSBERG, D. P.; ASHWORTH, V. A., Corros. Sci. 28, 539 (1998).
- TRABANELLI, G.; CARASSITI, V. *Advances in corrosion science and technology*. v. 1, New York: Plenum Press (1970).
- VASUDEVAM, T.; MURALIDHAVAN, S.; AL-WARAPPAN, S., IYER. S. V. K., Corros. Sci. 37, 1235 (1995).
- WAKMASTSU, T.; FUERSTENAU, D. W.; M: WEBER JR. W. J. MATZERIC, E. (Eds.), Adsorption from Aqueous Solution, American chemistry Society, Washington, D. C. (1968).
- YANNICK GARSANY; DEREK PLETCHER; BILL HEDGES, Electro. Chem. 000, 1-13 (2002).