

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE INIBIDORES DE CORROSÃO EM PACKER FLUIDS

Letícia Carvalho Machado (1), Pâmela Nogueira Santos (2), Tamires Silva de Santana (3)

Universidade Tiradentes, leticia_cm@hotmail.com.br (1), Universidade Tiradentes, pamelanogueira2011@hotmail.com. (2), Universidade Federal de Sergipe, tamirespetrolab@hotmail.com

Resumo: Fluidos de completação podem ser classificados *packer fluids* (fluidos obturadores), quando se apresenta nas condições de fluido estacionário no anular fechado entre o revestimento e a coluna de produção e isolado da zona de produção por um obturador. A seleção do sal a ser utilizado na composição da salmoura do fluido de completação se dá de acordo com a densidade necessária para o fornecimento de pressão hidrostática no poço. No entanto, a salinidade contida na solução provoca processos corrosivos nos equipamentos do poço, em que tem contato direto, serão eles o revestimento, a coluna de produção e o *packer*. O combate à corrosão pode ser realizado através da aplicação de inibidores de corrosão. A seleção de um inibidor de corrosão para fluidos de completação não é uma tarefa simples, uma vez que estes sistemas mantêm-se isolados por longos períodos, portanto seu desempenho deve atender o tempo de atividade desejado, permanecendo o mais inalterado possível para assegurar a proteção do sistema. O presente trabalho apresenta a avaliação de eficiência do inibidor de corrosão para tais sistemas através de ensaios em células metálicas revestidas com os corpos de prova imersos num fluido obturador do tipo salmoura de KCl 2% (8,5 lb/gal), a uma temperatura de 150° C durante sete dias corridos (168 horas). A metodologia é baseada na Norma Nace RP0775-2013 para calcular as taxas de corrosão através da perda de massa e espessura das amostras de aço-carbono.

Palavras-chave: Fluido obturador, Fluido de Completação, Corrosão, Inibidores de Corrosão.

Introdução

Para que se possa obter sucesso nas operações de completação, é necessário que todas as etapas sejam previamente analisadas e cuidadosamente executadas, assim os componentes químicos de cada equipamento e produto utilizado devem passar por avaliações de desempenho e compatibilidade. A compatibilidade química é uma característica importante a se observar entre os metais constituintes do revestimento, da coluna de produção e dos elastômeros constituintes do *packer* com o qual o fluido obturador (*packer fluid*) manterá contato.

Uma falha no revestimento ou na coluna de produção provocada por reagentes químicos e por mecanismos corrosivos pode levar a uma comunicação do poço com a formação, o que pode gerar consequências como perdas de pressão, desestabilização estrutural do poço ou até mesmo a permeação de hidrocarbonetos através das zonas não isoladas (POMINI, 2013).

Uma falha do *packer* provocada por compostos químicos corrosivos pode levar à desestabilização ou desacetamento da coluna de produção, bem como à comunicação da porção inferior do poço com o espaço anular. São falhas graves, que podem gerar sérias consequências no sistema de produção (em termos econômicos, de segurança operacional e ambientais) (FILHO *et al.*, 2016).

Dessa forma, quando um produto é escolhido para injeção química no poço, manter contato com o *packer fluid*, é de suma importância análises prévias da eficiência, compatibilidade do produto com o material do *packer*, do revestimento, da coluna de produção, do fluido de completação e uma ótima política

de QHSE (*Quality Health Safety Environment*) confirmando-se por meios de estudos e testes laboratoriais, sendo o caso até mesmo de desenvolvimento de produtos específicos para esse fim.

Metodologia

1.1. Preparação da salmoura de KCl 2%

Preparou-se as salmouras de KCl 2%, através da solubilização dos sais em 1200 mL de água industrial. Em seguida, foram transferidas para um balão volumétrico de 2000 mL de capacidade para uma melhor agitação e solubilização dos sais ainda não dissolvidos (Figura 1).



Figura 1. Salmoura de KCl 2% no balão volumétrico.

Após a agitação, as salmouras foram transferidas e divididas igualmente entre três béqueres de 600 mL de capacidade, onde foram adicionados 0,2% de preventor de emulsão comercial, 0,04% de bactericida comercial e dosagens 0,25% e 0,50% do inibidor de corrosão em teste (Figura 2). Em uma das amostras, denominada “meio em branco”, não foi adicionado inibidor de corrosão.



Figura 2. Apresentação das soluções com diferentes concentrações de inibidores.

1.2. Limpeza do material

Os conjuntos célula *roller oven* e os suportes dos corpos de prova, mostrados na Figura 3, foram lavados com água corrente e detergente alcalino. O material foi deixado imerso em álcool isopropílico e, posteriormente, rinsado com álcool etílico e acetona.



Figura 3. Célula roller oven e suporte para o corpo de prova.

1.3. Limpeza das amostras de prova antes do teste

A limpeza das amostras de aço carbono AISI 1020, antes e após os testes, foi realizada baseando-se na NACE RP0775-2013.

As amostras foram imersas num recipiente com reagente acetona P.A. por dez minutos em cada lado do cupom até a remoção total da película protetora. Em seguida, foi realizada uma limpeza com água deionizada e detergente neutro com a parte lisa de uma esponja. As medidas dos corpos de prova foram tiradas com auxílio de paquímetro, com precisão de 0,01 mm e pesados em balança analítica de 4 casas decimais.

1.4. Teste na estufa

Cada corpo de prova foi colocado em um suporte e esse suporte, por sua vez, colocado dentro da célula roller oven, evitando o contato do corpo de prova com as paredes da célula e com a tampa. As soluções foram transferidas para célula que foram levadas a estufa (Figura 4). O ensaio foi realizado em estufa de secagem microprocessada digital SPLABOR- modelo SP-40, por 168 horas para avaliação final de inibidor de corrosão para packer fluids, a 150 °C.



Figura 4. Célula roller oven dentro da estufa para início de ensaio.

1.5. Limpeza das amostras após o teste

As amostras na temperatura ambiente foram imersos em solvente orgânico não clorado, hexano, até completa remoção de resíduo de óleos e graxas. Em seguida, foram levados à capela para evaporação do solvente e enxaguados com água corrente. Posteriormente, foram imersos em solução ácida inibida por 1 hora. Essa solução foi preparada utilizando água deionizada, 135,13 mL de HCl 37,5%, e 1 mL de inibidor de corrosão disponível no mercado, perfazendo um volume final de 1 litro de solução. Após 1 hora, nos casos em que a limpeza do cupom não foi eficiente, o referido cupom continuou imerso na solução ácida por mais

30 minutos. Na sequência, foram lavados com água corrente até a retirada de todo excesso de ácido; mergulhados em uma solução saturada de bicarbonato de sódio por 1 minuto para neutralizar o ácido; lavados com detergente, utilizando uma esponja dupla face com a parte mais macia e, por último, foi realizado enxague com água destilada. Logo após esse processo de decapagem química, os corpos de prova foram imersos em acetona e colocados sobre papel absorvente. Ao final, os corpos de prova tiveram suas medidas aferidas novamente com um paquímetro e pesados em balança analítica.

1.6. Cálculo das taxas média de corrosão e eficiência

A taxa de corrosão média é determinada pela equação 1, através da perda de massa do cupom de corrosão, a densidade do metal aço-carbono, a área de exposição total e o tempo de exposição.

$$CR(\text{mm/a}) = \frac{3,65 \times 10^5 \times W}{A \times T \times D} \quad (1)$$

Onde: CR = Taxa média de corrosão em milímetros por ano (mm/a); W = Perda de massa, gramas (g); A = Superfície de exposição inicial do cupom, milímetros quadrados (mm²); T = Tempo de exposição, dias (d); D = Densidade do metal do cupom, gramas por centímetro cúbico (g/cm³).

Os cálculos de eficiência foram determinados pela equação 2, apresentada abaixo.

$$\eta = \frac{(CR)_b - (CR)_i}{(CR)_b} \times 100 \quad (2)$$

Em que: (CR)_b = Taxa média de corrosão do branco; (CR)_i = Taxa média de corrosão do produto em análise.

1.7. Amostragem

Tanto na primeira fase, quanto na segunda fase da metodologia, em que se realizou a avaliação dos inibidores, foram utilizados produtos encontrados no mercado, denominados no presente trabalho como Produto A e B que são produtos comercializados. Os produtos A e B são inibidores de corrosão formulados por uma mistura de compostos inorgânicos solúvel em água. Atuam formando um filme protetor, especialmente, desenvolvidos para aplicação em salmouras, que garante a integridade e proteção dos componentes do poço. Podendo ser utilizados tanto em poços de óleo, quanto em poços de gás, protegendo o anular contra corrosão gerada pelos *packer fluids* (salmouras de cloreto de potássio, cloreto de sódio e cloreto de cálcio).

Resultados e Discussão

Na Tabela 1 são demonstradas as dimensões (altura e comprimento), as massas iniciais e finais lidas e, por fim, os valores das áreas calculadas de cada cupom utilizado no teste 1. Com estes valores, foi possível realizar os possíveis cálculos de taxa de corrosão e eficiência dos inibidores.

Tabela 1. Leitura das pesagens, dimensões do corpo de prova e perda de massa (Teste 1).

Amostras	Peso (g)		Perda de massa (g)
	Inicial	Final	
1803 (Branco)	10,6564	10,6535	0,0029
1805 (Produto A)	10,6230	10,6209	0,0021

1804 (Produto B)	10,6878	10,6706	0,0172
------------------	---------	---------	--------

Sendo assim, a partir dos dados das perdas de massa ocasionadas no experimento, das dimensões dos corpos de prova antes e após o teste, do tempo de exposição e da densidade do metal das amostras, foi possível calcular, através das equações 1 e 2 do item 1.6, as taxas de corrosão dos corpos de prova (1803, 1805, 1804) e a eficiência dos inibidores de corrosão A e B na concentração de 0,25%, baseado na NACE RP-0775. Na Tabela 2 são apresentados os resultados encontrados do teste 1.

Tabela 2. Resultados da taxa média de corrosão das amostras e eficiência (Teste 1).

Produto	CR (mm/a)	Eficiência (%)
Branco	0,0171	0
A	0,0110	35,67
B	0,0922	- 439,18

Analisando visualmente o estado final das amostras, percebe-se que após o teste o cupom que estava imerso no fluido com o produto B, foi muito afetado (aparentemente sofreu um maior desgaste corrosivo). Já as amostras com solução salina livre de produto inibidor (branco) e com produto A, sofreram um menor ataque de corrosão (Figura 5).



Figura 5. Amostras de provas após o teste 1.

Na Tabela 3 são demonstradas as dimensões (altura e comprimento), as massas iniciais e finais lidas e, por fim, os valores das áreas calculadas de cada cupom utilizado no teste 2. A diferença do teste 2 para o teste 1 foi apenas na mudança de dosagem, concentração dos inibidores de corrosão e a utilização de novas amostras (1802, 1800, 1801).

Tabela 3. Leitura das pesagens, dimensões do corpo de prova e perda de massa (Teste 2).

Amostras	Peso (g)		Perda de massa (g)
	Inicial	Final	
1802 (Branco)	10,7586	10,7180	0,0408
1800 (Produto A)	10,6996	10,6960	0,0036
1801 (Produto B)	10,8018	10,7726	0,0292

A partir dos dados de perda de massa e área das amostras da Tabela 3 são apresentados os resultados das taxas de corrosão dos corpos de prova e da eficiência dos inibidores de corrosão do teste 2 após 168 horas de exposição, equivalente a sete dias, seguindo o procedimento de teste baseado na NACE e no trabalho de Santana *et al.* (2016). Os resultados podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados da taxa de corrosão das amostras e eficiência (Teste 2).

Produto	CR (mm/a)	Eficiência (%)
Branco	0,2187	0
A	0,0186	91,49
B	0,1380	36,89

É possível observar e analisar o estado das amostras de provas após o experimento através da Figura 6. Através de uma análise a olho nu, é possível observar que o ataque sofrido pelo metal na condição de solução branco foi maior do que nos demais corpos de prova. Já o ataque sofrido no cupom imerso na solução com produto A é mais brando comparando-se com o cupom do produto B. Comprovando-se assim, uma maior eficiência no produto A.

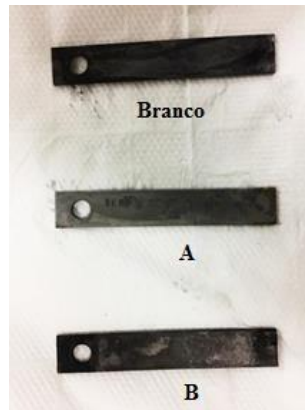


Figura 6. Amostras de prova após teste 2.

Segundo Bellarby (2009), uma cristalização resulta na deposição de cristais e pode fazer todo o volume da salmoura se transformar completamente em uma lama ou se solidificar. O teste 1 não será discutido por conta da evaporação, solidificação e, conseqüentemente, precipitação dos cristais dos sais da salmoura presentes na amostra em branco da célula 1 (Figura 7) por não apresentar padrão referência para avaliações comparativas.



Figura 7. Célula com salmoura evaporada e seus sais precipitados.

Os dados da Tabela 4 foram plotados em forma de gráfico de colunas verticais (Figura 8) utilizando a ferramenta Excel, onde é possível visualizar um melhor comparativo das taxas de corrosão nos três corpos de prova e o desempenho do inibidor de corrosão nas alíquotas do teste 2.

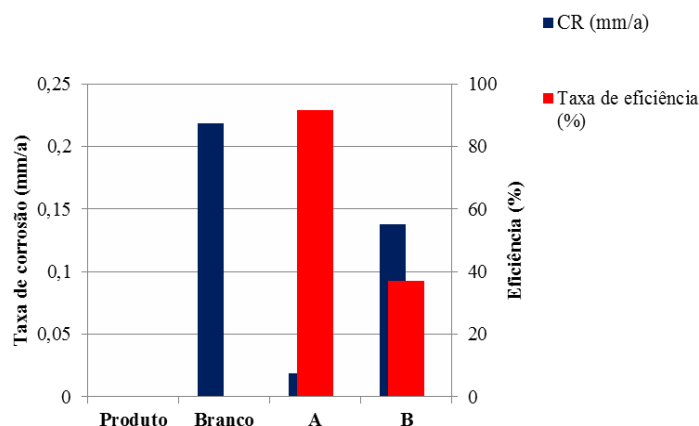


Figura 8. Resultado comparativo da taxa de corrosão e eficiência dos produtos no teste 2.

Com base na norma NACE-RP-07-75, que classifica a corrosividade dos meios em função de intervalos da taxa de corrosão, foi possível comparar e classificar a corrosividade do meio do teste 2 através dos valores da Tabela 4. Este comparativo e a classificação podem ser vistas na Tabela 5.

Tabela 5. Taxa de corrosão (mm/ano) e classificação da corrosividade para as condições do ensaio.

Condições do ensaio		Taxa de corrosão (mm/ano)	Corrosividade (uniforme)	Corrosividade (pite)
Concentração de 0,50%	Branco	0,2187	Alta	Alta
	Produto A	0,0186	Baixa	Baixa
	Produto B	0,1380	Alta	Moderada

Conclusões

A realização deste trabalho possibilitou uma melhor pesquisa e abordagem do tema. É de extrema importância o estudo da compatibilidade química dos inibidores de corrosão com os equipamentos do poço, bem como o meio e condições em que são empregados.

Os dados apresentados no teste 2 para as formulações testadas foram valores de taxas inferiores ao resultado do ensaio sem inibidor de corrosão (branco, CR = 0,2187 mm/a). A menor taxa foi observada no ensaio com o produto A, sendo o melhor resultado de eficiência apresentado com 91,49%. Já o produto B apresentou uma eficiência de 36,89%. Quanto à corrosividade de acordo com a NACE RP-0775 eles se

classificaram em meios altamente corrosivos. Apenas apresentando um comportamento de corrosão baixa por pite a partir do produto A e moderada a partir do produto B.

Referências Bibliográficas

BELLARBY, J. *Well Completion Designs*. Oxford, 1ª edição, 2009.

FILHO, J. C. F. *et al.* **Estudo da Estrutura e Seleção do Material do Packer e Combate à Corrosão do Packer Fluid por Tratamento Químico**. 56º Congresso Brasileiro de Química, Pará, 2016.

NACE. *Preparation, Installation, Analysis, and Interpretation of Corrosion Coupons in Oilfield Operations*, NACE International, 2013.

POMINI, A. M. **A química na produção de petróleo**. Rio de Janeiro, Brasil: 1ª ed. Interciência, 2013.

SANTANA, T. S. *et al.* **Avaliação de Inibidores de Corrosão para Aplicação em Packer Fluids: Tecnologia Avançada, Compromisso com o Meio Ambiente e Elevada Eficiência**. Rio Oil & Gas Expo and Conference, Rio de Janeiro, 2016.