

AVALIAÇÃO DA TAXA DE CORROSÃO EM SISTEMAS DE AÇO CARBONO, SUBMETIDOS À ÁGUA DO POÇO ARTESIANO QUE ABASTECE PARTE DA REDE HIDRÁULICA DO IFBA CAMPUS SIMÕES FILHO.

Rebeca Silva Santos ¹
Paulo Moura Bispo de Santana ²

RESUMO

O presente trabalho de pesquisa visa abordar os aspectos mais relevantes da intensidade da corrosão em aço carbono, quando exposto ao contato direto com a água que circula no sistema hidráulico do IFBA Campus Simões Filho. Buscamos quantificar a taxa de corrosão existente nesse sistema, a partir do uso de cupons metálicos, instalados em pontos estratégicos e ensaios eletroquímicos realizados pela técnica de Polarização Linear. Nos testes foram utilizados dois tipos de cupons: um em aço carbono comum e o outro em aço carbono revestido com óxido de zinco. Nos ensaios eletroquímicos foi utilizado o eletrodo de trabalho confeccionado em aço carbono e avaliado o uso conjunto de dois inibidores de corrosão (catódico e anódico). O texto descreve as diferentes respostas obtidas aos estímulos corrosivos nos dois tipos de cupons testados e avalia a efetividade do uso simultâneo dos inibidores de corrosão como alternativa mitigadora. Durante o estudo de caso, foi possível aplicar vários conhecimentos obtidos no curso de Petróleo e Gás Natural e assim aumentar minha qualificação para atuar no mercado de trabalho, propondo soluções que possam reduzir tais problemas no dia a dia das indústrias, principalmente na indústria de petróleo, onde o controle da corrosividade da água é indispensável para a operação nas unidades de refino e processamento de petróleo.

Palavras-chave: Aço carbono, Monitoração da corrosão, Taxa de corrosão.

INTRODUÇÃO

A preocupação com fenômeno da corrosão vem desde os tempos antigos, Plínio (um filósofo romano que viveu entre 23-79 d.C.) escreveu sobre a destruição do ferro em seu ensaio “Ferrum Currupitar”[1].

Contudo, o estudo dos mecanismos e origem da corrosão, tomou força a partir da teoria de Robert Boyle, sobre a “Origem Mecânica da Corrosividade” [1]. Contribuições relevantes foram feitas por Faraday (1791 – 1867), quando estabeleceu

¹ Técnica pelo Curso de Petróleo e Gás Natural do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA, rebeca4santos@outlook.com;

² Doutorando de Equipamentos Industriais, com foco em Corrosão em altas temperaturas pela Universidade Federal da Bahia - UFBA, professor.paulomoura@hotmail.com.

uma relação quantitativa entre a ação elétrica e corrente elétrica. Suas leis dão base para a determinação do cálculo da taxa de corrosão nos metais [1].

O desenvolvimento dos estudos relacionados ao controle da corrosão teve início em 1903, liderado por Whitney. Pouco tempo depois UR Evans Vide, sugeriu uma noção moderna sobre a temática, com base em sua teoria química apresentada em 1923. Feito que promoveu um largo progresso na concepção moderna sobre o assunto. Uhlig e Fontana contribuíram de modo significativo para o avanço dos trabalhos em desenvolvimento [1].

A corrosão é caracterizada como a degradação de um material, por ação química ou eletroquímica do meio, que pode ou não, estar associada aos esforços mecânicos e, é um processo espontâneo, passível de acontecer com a maioria dos materiais [2].

Em termos mais específicos, a corrosão parte da predisposição dos metais a uma condição termodinâmica instável, tendendo para o estado de estabilidade, pela formação de óxidos, hidróxidos, sais, dentre outras formações. Com isso, torna claro que tal processo se propaga de modo natural e indesejável [2].

O estudo da intensidade do processo corrosivo é indispensável quando o objetivo é assegurar a eficiência do processo produtivo nas unidades industriais de processamento e refino do petróleo. Negligenciá-lo, contudo, é assumir a responsabilidade de possíveis acidentes, bem como, perda na produção.

Esse estudo teve por objetivo, avaliar a intensidade do potencial corrosivo da água de poço que abastece parte da rede hidráulica do IFBA – Simões Filho e verificar a efetividade do uso de inibidores de corrosão, como estratégia mitigadora.

METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido em três etapas. Na primeira etapa foi utilizado o método tradicional de medição da taxa de corrosão por cupons metálicos. Nesse método foram consideradas algumas variáveis para a determinação das taxas, tais como, a área superficial do corpo de prova, o tempo de exposição, a massa específica do metal de referência e a perda de massa do metal exposto. Realizado em dois momentos, alternando o período, sendo o primeiro de 52 dias e o segundo 50 dias. Bem como, a equação base para a determinação da taxa de corrosão: $TC = (\text{Peso Inicial} - \text{Peso Final}) \times K / (\text{Área} \times \text{Tempo} \times \text{Densidade}) = \text{mm/Ano}$.

Tabela 1 – Categorização da taxa de corrosão.

Faixa considerada	Intensidade da Corrosão
< 0,025 mm/ano	Baixa
0,025 a 0,12 mm/ano	Moderada
0,13 a 0,25 mm/ano	Alta
> 2,5 mm/ano	Severa

Como mostrado na Tabela 1, existe uma categorização da taxa de corrosão em função de sua intensidade. Se a taxa de corrosão for menor que 0,025 mm/ano, o material pode ser utilizado sem restrição, pois é resistente à corrosão. Se a taxa de corrosão apontar para um valor maior que 0,12 mm/ano o material pode ser utilizado, no entanto, a corrosão precisa ser monitorada e se possível controlada. Contudo, se o valor dessa taxa exceder 2,5 mm/ano não é recomendado o seu uso, nas condições avaliadas [2].

Na segunda etapa foi realizada a determinação dos índices de agressividade da água, a partir da análise dos seus parâmetros, para o cálculo do pH de saturação e dos índices de Langelier e Ryznar.

Para a obtenção do Índice de Saturação proposto por Langelier - ISL, utilizamos a Equação (1).

$$ISL = pH - pH_S \quad (1)$$

O pH de saturação ou de equilíbrio (pH_S) pode ser calculado pela Equação (2).

$$pH_S = (9,3 + A + B) - (C + D) \quad (2)$$

Sendo:

$$A = (\log_{10} \{STD\} - 1) / 10$$

$$B = -13,12 \times \log_{10} (°C + 273) + 34,55$$

$$C = \log_{10} \{Ca^{2+} \text{ de } CaCO_3\} - 0,4$$

$$D = \log_{10} \{Alcalinidade \text{ do } CaCO_3\}$$

Em que:

STD = Sólidos Totais Dissolvidos ($mg.L^{-1}$).

Ca^{2+} de $CaCO_3$ = Teor de cálcio em forma de carbonato.

pH = O próprio da água analisada, o pH medido.

pH_S = pH de equilíbrio/saturação ou de estabilidade.

A partir do resultado do índice proposto por Langelier foi gerada uma relação entre os valores obtidos e o nível do potencial corrosivo da água analisada, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Previsões sobre a formação de incrustações segundo ISL calculado.

ISL	$ISL > 0$	Formação de incrustação
	$ISL = 0$	Neutro/Estabilidade
	$ISL < 0$	Tendência corrosiva

Para obter o Índice de Estabilidade proposto por Ryznar, utilizamos a Equação (3).

$$IER = 2 (pH_S) - pH \quad (3)$$

Os valores obtidos para a água analisada sob o parâmetro proposto por Ryznar poderá ser analisado através da relação entre o valor obtido para o IER e o estágio da corrosão, como evidenciado na Tabela 3.

Tabela 3 – Previsões sobre a formação de incrustações segundo IER calculado.

IER	$IER < 5,5$	Intensa formação de incrustações
	$5,5 < IER < 6,2$	Formação de incrustação
	$6,2 < IER < 6,8$	Sem dificuldades
	$6,8 < IER < 8,5$	Água agressiva
	$IER > 8,5$	Água muito agressiva

Na terceira etapa foram realizados ensaios eletroquímicos de polarização linear para avaliar dois inibidores de corrosão. Para o experimento eletroquímico utilizamos a célula eletroquímica composta por quatro eletrodos necessários para o procedimento, dos quais são o eletrodo de referência (prata cloreto de prata), o eletrodo de trabalho (aço carbono) com o diâmetro de 1 cm, o eletrodo especial (para medir pH e temperatura) e o contra eletrodo (de platina)

O equipamento utilizado foi o Pontenciostato/Galvanostato acoplado a uma célula eletroquímica, ambos da Metrohm Autolab. O software empregado foi produzido pela empresa mencionada anteriormente, “*NOVA na versão 1.10.4*”, com o número de série de AUT85734.

Inicialmente, foi submetido ao ensaio 500 mL da água do poço, realizando o teste branco (não dosando inibidores de corrosão), registramos os valores obtidos nessa etapa. No segundo ensaio, foi utilizado a mesma quantidade de água utilizada anteriormente, dosando com o auxílio de uma micropipeta 10 ppm do zinco (inibidor catódico) e 30 ppm do fosfato (inibidor anódico). Foi adicionada à solução, uma pastilha de agitação magnética (para garantir uma agitação eficiente).

Devido à solução com inibidor gerar curvas de polarização com taxa de corrosão elevada, em função do baixo valor de pH, os ensaios foram refeitos, ajustando o pH da solução

DESENVOLVIMENTO

A história mostra que o processo corrosivo de degradação de um material, contribui para acidentes, explosões, contaminação ambiental e mortes, há exemplo disso, citamos a catástrofe que aconteceu em Cubatão (SP) na década de 1990, onde a corrosão numa tubulação de derivados de petróleo gerou vazamento do fluido, com conseqüente incêndio e explosão de grandes proporções, provocando a morte de centenas de pessoas, sem mencionar a grande contaminação ambiental (GENTIL, 2011, p.3).

Os custos são categorizados em diretos, os que são imputados aos proprietários, operadores da planta produtiva, fabricantes de produtos e fornecedores de serviços ou indiretos, os quais não são juridicamente atribuídos aos proprietários [3] e [4].

Com intuito de combater a tendência termodinâmica do processo corrosivo, foi desenvolvida uma série estudos, que se baseiam em aplicar uma camada protetora que atue como barreira entre o metal e o meio corrosivo. Essas camadas podem ser geradas de forma natural ou artificialmente [3].

De acordo com William Callister (2006, 514p.) em seu livro “*Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais*”, o material metálico possui uma tendência química, em certas condições do meio, de perderem a sua reatividade química, passando para um estado

passivo, evento que envolve a formação natural de uma camada de óxido protetor, fenômeno conhecido por *passivação*.

A monitoração da corrosão por meio de cupons (corpo de prova metálico) de perda de massa tem sido uma técnica muito utilizada para o acompanhamento e controle da degradação dos sistemas de produção de petróleo [5].

Para maior confiabilidade dos resultados obtidos se faz necessário, que o material do cupom represente o material do equipamento monitorado, como o material mais usado nas indústrias é o aço carbono, essa é a opção preferencial na confecção de cupons.

O aço carbono é considerado uma liga (ferro-carbono) bastante viável nas indústrias, devido sua composição, que confere maior resistência ao material. A quantidade de carbono, para cada liga, irá gerar uma classificação do aço em três níveis, que são: baixo carbono (possui no máximo 0,30%), o médio ou intermediário (que contém de 0,30 a 0,60%) e o alto (possui de 0,60 a 1,00%) [6].

A água atua de maneira significativa como motivador corrosivo, no seu estado puro é composta por moléculas que estão associadas, devido, às ligações por ponte de hidrogênio, sendo que, todas as outras substâncias presentes, são rigorosamente impurezas [2].

Para avaliar a agressividade da água (capacidade de ser incrustante ou corrosiva), aplica-se o Índice de Saturação proposto por Langelier - ISL ou o Índice de Estabilidade proposto por Ryznar - IER. Ambos proporcionam a verificação do potencial de agressividade, diferindo apenas no nível de precisão.

Langelier (1936) observou que há uma tendência natural dos tubérculos formarem uma película impermeável, próxima à superfície exposta à água. Em detrimento desse fenômeno, propôs um método de acondicionamento da água, visando proteger as tubulações de distribuição de água do seu ataque corrosivo [2].

O Índice de Estabilidade proposto por Ryznar (2003) consiste na correlação da tabela empírica de espessura observada na tubulação e o estado químico da água, que serve para quantificar a relação entre o estado de saturação do carbonato de cálcio e a camada formada. Sendo esse o mais efetivo [2].

Para o estudo minucioso da propagação de um processo corrosivo, é possível empregar o experimento eletroquímico. “As reações eletroquímicas estão associadas a uma passagem de corrente elétrica, através de uma distância finita, maior do que a distância interatômica” (WOLYNEC, 2003, p.14). Passagem que envolve a movimentação de partículas carregadas, tais como: íons, elétrons, ou ambos. Assim, boa parte das reações, que

ocorrem em superfícies metálicas, tem o trânsito de corrente, por meio do metal, constituindo dessa maneira, uma reação eletroquímica, sendo que, a maioria das reações dessa natureza ocorre em eletrólito líquido, normalmente aquoso [7].

O potencial de equilíbrio, conceituado como potencial de eletrodo ou potencial eletroquímico é obtido quando a diferença de potencial atinge um valor em que a energia livre de passagem de íons para a solução se anula, estabelecendo assim, o equilíbrio termodinâmico. A tendência para essa passagem varia de metal para metal, metais que tendem a oxidar, apresentam uma separação de cargas elétricas maior, (em que os elétrons estão na superfície do metal e os cátions na solução), identificando o seu potencial eletroquímico [4].

A diferença de potencial pode implicar em algumas particularidades, quando, por exemplo, ocorre à modificação de potencial, no sentido de menor atividade, o eletrodo torna-se mais catódico ou mais nobre, formando uma película protetora [8].

A **polarização** tem direta ligação com a diferença de potencial, pois, oferece resistência à corrosão, devido ao deslocamento de cada potencial de eletrodo, mantendo a condição de equilíbrio e modificando o seu potencial [2].

Os inibidores de corrosão são substâncias que, quando administradas, nas concentrações adequadas, no meio corrosivo, reduz ou até mesmo elimina a corrosão, podendo ser anódicos, que atuam reprimindo as reações do anodo ou catódicos, nos quais oferecem resistência para as reações cátodo.

Independente dos valores de concentração, os inibidores catódicos são considerados mais seguros do que os anódicos. Na maioria dos casos, os inibidores são empregados de maneira conjunta, dosando os valores da concentração, a fim de potencializar o combate ao processo corrosivo [2].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Realizamos os cálculos da taxa de corrosão dos cupons instalados no primeiro momento, tendo a densidade do aço carbono no valor de $7,86 \text{ g/cm}^3$ e a constante de normalização de $8,748 \times 10^4$. Obtivemos os seguintes valores:

$$TC = \frac{(\text{Peso Inicial} - \text{Peso Final}) \times K}{\text{Área} \times \text{Tempo} \times \text{Densidade}} = \frac{\text{mm}}{\text{Ano}} = \frac{(0,1536) \times 8,748 \times 10^4}{16,9337 \times 52 \times 7,86} = \frac{13\,436,93}{6\,921,14} = 1,94 \text{ mm/ano}$$

$$TC = \frac{(0,2079) \times 8,748 \times 10^4}{21,67 \times 52 \times 7,86} = \frac{18\,187,092}{8\,856,962} = 2,05 \text{ mm/ano.}$$

Para o segundo momento, calculamos o valor da taxa de corrosão do cupom instalado. Utilizando a mesma metodologia do primeiro momento, tivemos por resultante o seguinte valor:

$$TC = \frac{(0,2088) \times 8,748 \times 10^4}{21,64 \times 49 \times 7,86} = \frac{18\,265,824}{8\,334,43} = 2,19 \text{ mm/ano.}$$

A análise da água foi realizada com o objetivo de pesquisar qual o seu potencial corrosivo, isto é, quantificar o seu percentual de contribuição para as taxas de corrosão obtidas, a partir dos dados fornecidos, como visto na Tabela 4.

Tabela 4 - Dados da análise da água.

Amostra	STD	Temperatura	Dureza	Alcalinidade
1	73,07	30	43,95	69,79
2	70,94	30	25,97	69,79
3	69,19	30	43,95	69,79

A partir das informações obtidas com a análise da água, é possível calcular o pH de saturação e posteriormente os índices de Langelier e Ryznar, como mostra as Tabelas 5 e 6.

Tabela 5 - Parâmetros calculados a partir dos dados da análise para o cálculo do pH de saturação.

Amostra	A	B	C	D
1	0,09	1,99	1,24	1,84
2	0,09	1,99	1,01	1,84
3	0,08	1,99	1,24	1,84

Tabela 6 - Dados utilizados para o cálculo dos índices de Langelier e Ryznar.

pH Saturação	pH Medido	ISL	IER
8,29	7,20	-1,09	9,39
8,52	7,34	-1,18	9,70
8,29	7,11	-1,18	9,47

Com base no índice de estabilidade proposto por Langelier, foi gerado um gráfico, que ilustra os pontos em que a água fornece riscos de corrosão ou incrustação. Mostrando que essa água é potencialmente corrosiva, como visto na Figura 1.

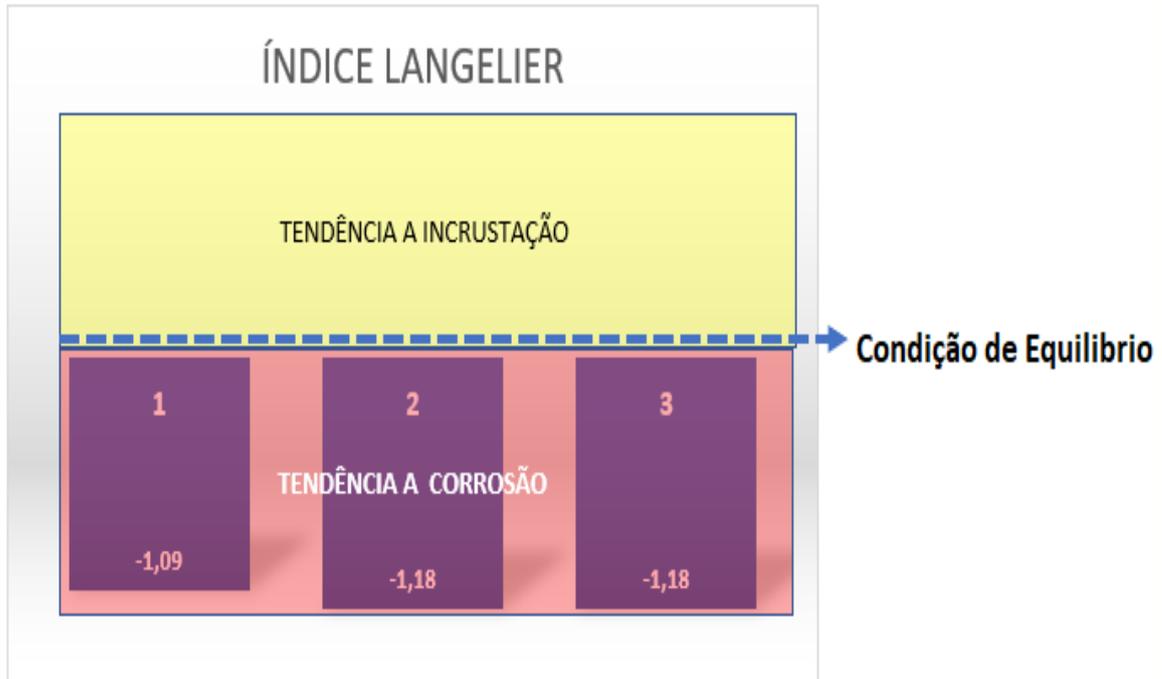


Figura 1 – Resultado do ISL para a água analisada.

De acordo com Ryznar são águas extremamente corrosivas, pois, para as três amostras analisadas, os valores foram superiores a 8,5, como mostra a Figura 2.

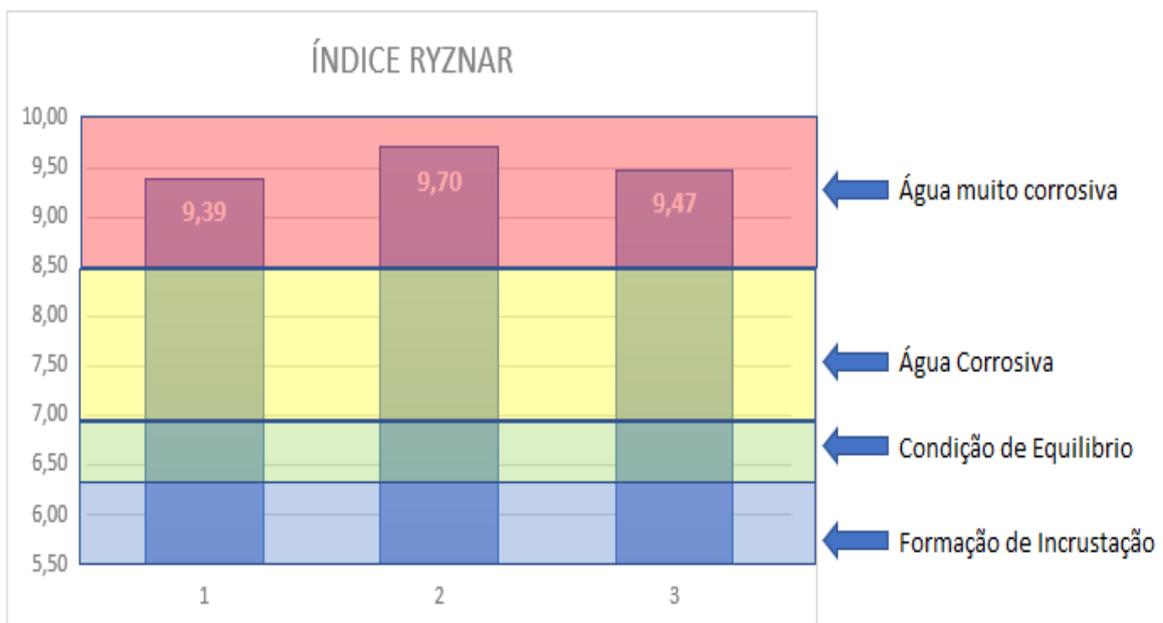


Figura 2 – Resultado do IER para a água analisada.

No que diz respeito ao ensaio eletroquímico, os inibidores de corrosão tem características distintas, mas que nas concentrações adequadas, funcionam de modo efetivo mitigando a degradação do material.

O zinco, por exemplo, é um inibidor catódico. Já o fosfato é anódico, um ácido fosfórico que tende a combinar com o cálcio que tem na água, formando cálcio fosfato, que irá produzir um fino filme protegendo toda a superfície do corpo de prova.

Foram analisadas algumas variáveis no processo, dentre as quais está o pH. Por meio dos cinco ensaios realizados foi possível constatar que os valores do pH oscilaram de uma data para outra, devido à exposição da água ao oxigênio. O oxigênio pode aumentar ou diminuir o pH, para esse ensaio, houve o aumento, como mostra a Figura 3.

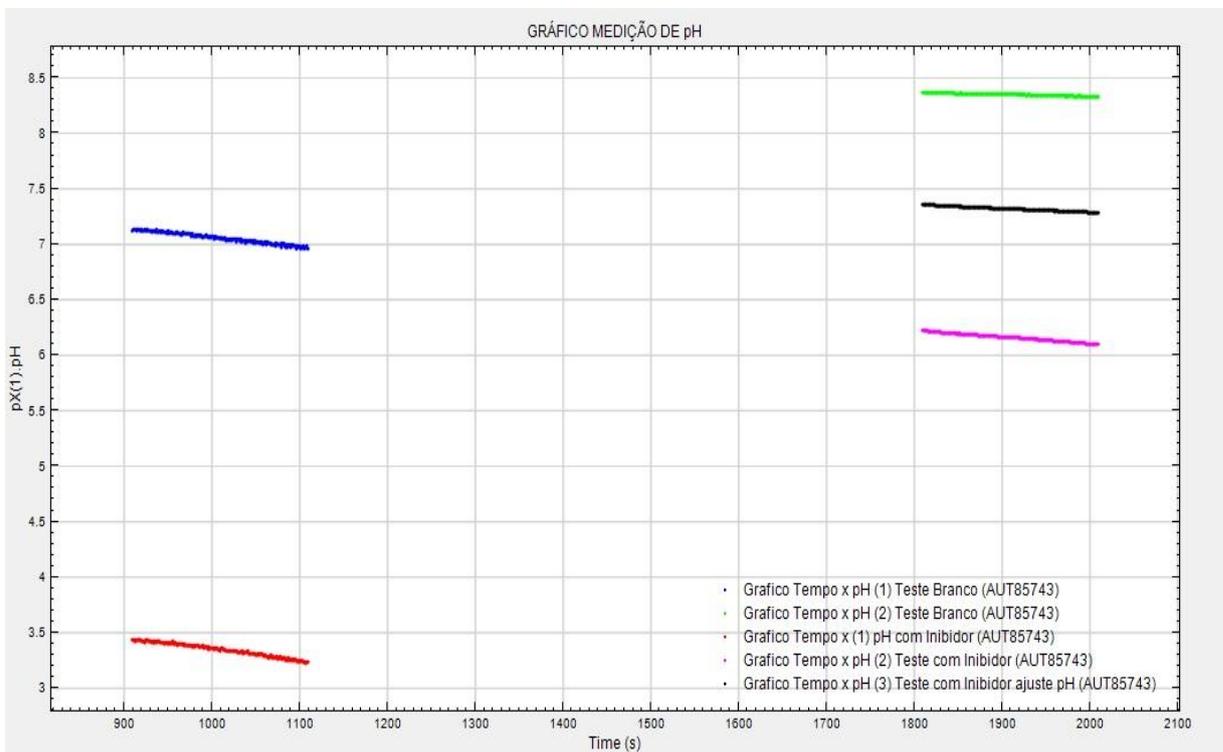


Figura 3 – Gráfico de medição do pH.

Na Figura 4 mostra as curvas de polarização com seus respectivos potenciais e valores de corrente, todos tem o potencial crítico e o valor da corrente crítica bem próximos, com exceção do teste com inibidor (1) sinalizado pela cor vermelha, devido ao valor demasiadamente baixo de pH.

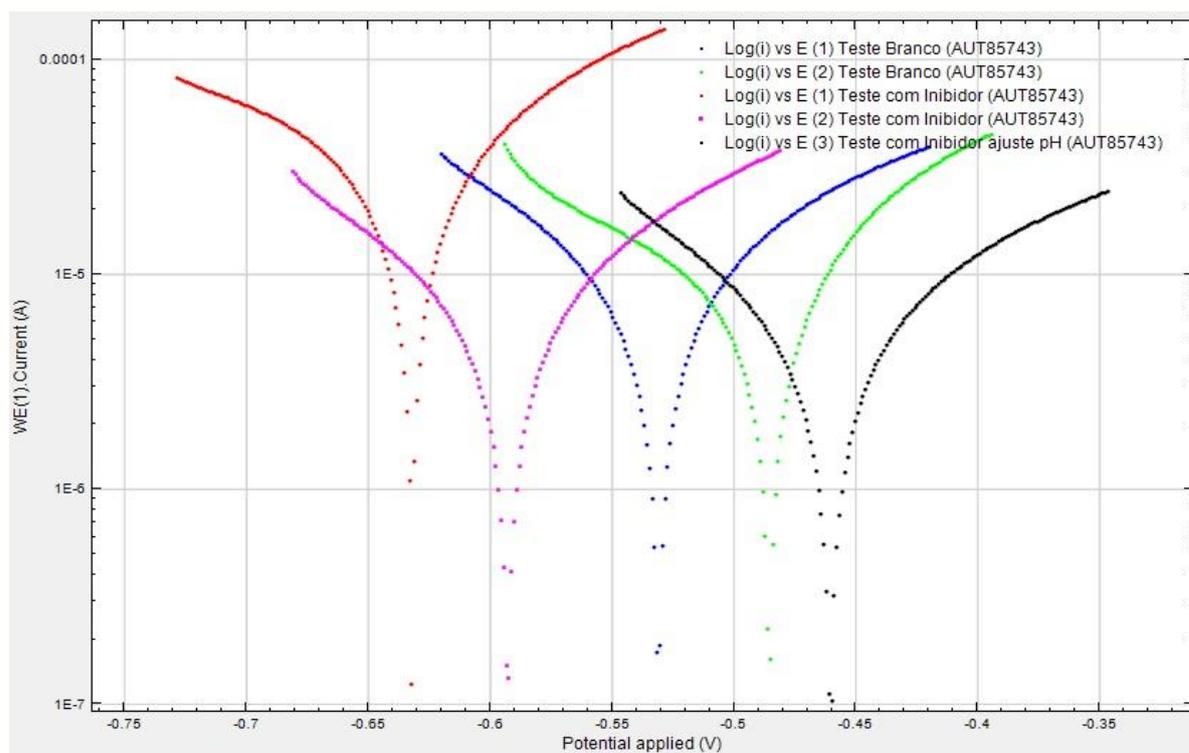


Figura 4 – Gráfico da polarização linear.

Na Tabela 4, condensamos todos os valores obtidos ao longo da sucessão de ensaios eletroquímicos, bem como, as particularidades de cada ensaio realizado. Salientando que as datas dos ensaios são referentes ao ano de 2018.

Tabela 4 – Resultados dos testes eletroquímicos.

Teste	Data	pH	PO ₄ (ppm)	Zn (ppm)	TC (mm/ano)	OCP (v)	Eficiência (%)
Branco	05/09	7,2	Ø	Ø	0,728	- 0,521	Ø
Com inibidor	05/09	3,3	30	10	15,141	- 0,629	Ø
Branco + Ajuste de pH	15/09	8,3	Ø	Ø	0,564	- 0,495	Ø
Com inibidor + Ajuste de pH	15/09	6,2	30	10	0,397	- 0,582	29,60
Com inibidor + Ajuste de pH (NaOH ⁻)	15/09	7,3	30	10	0,3218	- 0,448	42,94%

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluimos pela observação dos resultados que essa água tem potencial corrosivo. O uso de inibidores de corrosão demonstrou ser uma estratégia efetiva para controle dessa

corrosão. Contudo, a medição e ajuste do pH se mostraram necessários para assegurar a correta ação dos inibidores testados. A eficiência dos inibidores testados pode ser melhorada aumentando sua concentração.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Deus Emanuel, por ter estado comigo, me motivando a romper as barreiras, por sua infinita bondade e auxílio. Ao meu orientador por toda assistência e por acreditar nesse trabalho. A minha família por todo apoio dado. Ao IFBA por possibilitar o desenvolvimento dessa atividade de pesquisa e ao VIº Encontro Internacional de Jovens Investigadores - JOINBR por viabilizar essa oportunidade de interação.

REFERÊNCIAS

- [1] AHMAD, Zaki. **Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control**. Islamabad: Butterworth-Heinemann, 2006.
- [2] GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- [3] **Custos da Corrosão**. Disponível em: <http://www.spmateriais.pt/corrosaoeprotecao/?page_id=227>. Acesso em: 21 Ago. 2018.
- [4] NUNES, Laerce. **Fundamentos de Resistência à Corrosão**. Rio de Janeiro: Interciência, 2007.
- [5] SIMOR, Elcione; NOVAIS, André. **Gerenciamento da taxa de corrosão por cupons por perda de massa**. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/9000948-Gerenciamento-da-taxa-de-corrosao-por-cupons-por-perda-de-massa-cuponnet-elcione-simor-petroleo-brasileiro-s-a-petrobras.html>>. Acesso em: 15 Ago. 2018.
- [6] **O que é o aço carbono**. Disponível em: <<http://wwwo.metallica.com.br/o-que-e-aço-carbono>>. Acesso em: 15 ago. 2018.
- [7] WOLINEC, Stephan. **Técnicas Eletroquímicas em Corrosão**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2003.
- [8] CALLISTER, William. **Corrosão e Degradação dos Materiais**. In: Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.