



ESTUDO DA AÇÃO DE INIBIDOR BIODEGRADÁVEL EM ÁGUA DO MAR

Natália Cristina Ladeira
Thalyta Spitz Thurler

Projeto de Final de Curso

Orientadores

Ladimir José de Carvalho, D.Sc.
Simone Louise Delarue C. Brasil, D.Sc.

Setembro de 2009

ESTUDO DA AÇÃO DE INIBIDOR BIODEGRADÁVEL EM ÁGUA DO MAR

Natália Cristina Ladeira
Thalyta Spitz Thurler

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química.

Aprovado por:

Claudinei de Souza Guimarães, M.Sc

Marcelo Schultz da Rocha, M.Sc.

Osvaldo Galvão Caldas da Cunha, Ph.D.

Orientado por:

Ladimir José de Carvalho, D.Sc.

Simone Louise Delarue C. Brasil, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Setembro de 2009

Ladeira, Natália Cristina., Thurler, Thalyta Spitz.

Estudo da ação de inibidor biodegradável em água do mar / Natália Cristina Ladeira e Thalyta Spitz Thurler. Rio de Janeiro : UFRJ/EQ, 2009.

xi, 46 p.; il.

(Projeto Final de Curso) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2009

Orientadores: Ladimir José de Carvalho e Simone Louise Delarue C. Brasil

1. Extrato de repolho roxo. 2. Corrosão. 3. Inibidor biodegradável. 4. Projeto Final de Curso (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Ladimir José de Carvalho e Simone Louise Delarue C. Brasil I. Título.

“O correr da vida embrulha tudo. A vida é assim, esquenta e esfria, aperta e depois afrouxa, aquieta e depois desinquieta. O que ela quer da gente é coragem. O que Deus quer é ver a gente aprendendo a ser capaz de ficar alegre e amar, no meio da alegria. E ainda mais no meio da tristeza. Todo o caminho da gente é resvaloso, mas cair não prejudica demais, a gente levanta, a gente sobe, a gente volta”.

João Guimarães Rosa

DEDICATÓRIA

A Deus, que nos enviou nossos pais e amigos, todos aqueles que entraram na nossa história de vida e nos ensinaram a crescer, a ser mais humanos; que nos tornou tudo que fomos, que somos e ainda seremos e, principalmente, que nunca nos deixou nos momentos difíceis e que nos permitiu chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter permitido a realização deste trabalho.

Aos nossos pais, pelo amor, dedicação e incentivo ao nosso crescimento pessoal e profissional.

Ao professor Ladimir José de Carvalho, por todo incentivo e orientação nos experimentos e apoio e compreensão quando mais precisamos.

À Simone Louise Delarue C. Brasil, por toda atenção e orientação dada durante a realização do projeto final.

Aos colegas Gabriel Marques e Miguel Bustamante por nos ajudar na realização dos experimentos.

Aos amigos de faculdade: Eduardo, Raquel, Vânia e Vinicius pela agradável convivência e por estarem sempre dispostos a nos ajudar.

RESUMO

Resumo do Projeto Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química.

ESTUDO DA AÇÃO DE INIBIDOR BIODEGRADÁVEL EM ÁGUA DO MAR

Natália Cristina Ladeira
Thalyta Spitz Thurler

Orientadores: Ladimir José de Carvalho
Simone Louise Delarue C. Brasil

O avanço tecnológico ocorrido no último século veio acompanhado de uma maior utilização de peças e estruturas metálicas em todos os setores de nossa sociedade. Este fato torna o estudo da corrosão, particularmente no que diz respeito ao seu controle, fundamental para preservar a vida útil destes materiais, além de minimizar gastos oriundos dos processos corrosivos. Dentre as várias técnicas de prevenção e controle destaca-se o emprego de inibidores de corrosão, utilizados em uma vasta gama de processos. Os inibidores de corrosão são substâncias ou misturas de substâncias que, em condições adequadas, no meio corrosivo, reduz ou elimina o processo corrosivo. Neste projeto foi utilizado o inibidor biodegradável oriundo do extrato de repolho roxo que possui antocianinas, flavonóides que possuem propriedades antioxidantes. A partir daí foram realizados testes para comprovar seu poder anticorrosivo. O teste de perda de massa foi baseado em diferentes concentrações do extrato do inibidor escolhido e realizado em recipientes contendo 3 corpos de prova de aço carbono 1010 cada. Ao final do teste realizado os corpos de prova foram removidos, inspecionados visualmente, decaçados com a solução de Clark e pesados novamente, conforme norma ASTM G1. Com a variação de massa de cada placa, foi determinada a taxa de corrosão generalizada média. Outro método escolhido foi a curva de polarização para possibilitar a identificação ou não de passivação, sendo possível detectar, assim, o tipo de inibição oferecida pelo extrato de repolho roxo. A determinação experimental da curva de polarização foi executada através do método potencioestático.

Palavras-chave: Extrato de repolho roxo, Corrosão, Inibidor biodegradável

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Corrosão eletroquímica, decorrente da exposição atmosférica, no gradil em monumento de ferro fundido: (a) vista da coluna do gradil; (b) detalhe ampliado da base da coluna	6
Figura 2.2	Ação dos inibidores anódicos	12
Figura 2.3	Ação dos inibidores catódicos	13
Figura 2.4	Ação dos inibidores mistos em aço	13
Figura 2.5	Estrutura base dos flavonóides	17
Figura 3.1	Evaporador Rotativo	19
Figura 3.2	Esquema de preparação do ensaio de perda de massa	20
Figura 3.3	Equipamentos utilizados para realização da curva de polarização	22
Figura 3.4	Detalhe dos 3 eletrodos em contato com meio: (a) solução salina 3%; (b) solução salina 3% + 15 mL de extrato de repolho roxo	22
Figura 4.1	Gráfico do corpo de prova A	25
Figura 4.2	Gráfico do corpo de prova B	26
Figura 4.3	Gráfico do corpo de prova C	27
Figura 4.4	Gráfico do corpo de prova D	28
Figura 4.5	Gráfico do corpo de prova E	28
Figura 4.6	Gráfico do corpo de prova F	30
Figura 4.7	Gráfico do corpo de prova G	30
Figura 4.8	Gráfico do corpo de prova H	31
Figura 4.9	Gráfico do corpo de prova I	32
Figura 4.10	Gráfico do corpo de prova J	33
Figura 4.11	Gráfico do corpo de prova K	33
Figura 4.12	Gráfico do corpo de prova K	34
Figura 4.13	Curva de Polarização (Solução NaCl 3%)	37
Figura 4.14	Curva de Polarização (Solução NaCl 3% + 15 mL de extrato de repolho)	38
Figura 4.15	Comparação das Curvas de Polarização	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1	Peso dos corpos de prova A e B E após o teste e a decapagem	24
Tabela 4.2	Diferença de massa dos corpos de prova (A e B)	25
Tabela 4.3	Peso dos corpos de prova C, D e E após o teste e a decapagem	26
Tabela 4.4	Diferença de massa dos corpos de prova (C, D e E)	27
Tabela 4.5	Peso dos corpos de prova F, G e H após o teste e a decapagem	29
Tabela 4.6	Diferença de massa dos corpos de prova (F, G e H)	29
Tabela 4.7	Peso dos corpos de prova I, J e K após o teste e a decapagem	31
Tabela 4.8	Diferença de massa dos corpos de prova (I, J e K)	32
Tabela 4.9	Valores dos Δm 's e das áreas	35
Tabela 4.10	Valores das taxas de corrosão e das eficiências calculadas	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	2
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	Corrosão	5
2.1.1	Corrosão uniforme	6
2.1.2	Corrosão puntiforme ou por pite	7
2.1.3	Outros tipos de corrosão	7
2.2	Aço-Carbono	8
2.2.1	Características do aço-carbono	8
2.2.2	Classificação do aço-carbono	9
2.3	Inibidores de corrosão	9
2.3.1	Histórico dos inibidores de corrosão	9
2.3.2	Classificação dos inibidores	11
2.3.3	Inibidores em meio ácido	14
2.4	Flavonóides antioxidantes	16
2.4.1	Antocianinas	17
3	MATERIAIS E MÉTODOS	19
3.1	Obtenção do extrato do repolho roxo	19
3.2	Teste de perda de massa	20
3.2.1	Decapagem ácida	20
3.3	Curva de polarização	21
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1	Teste de perda de massa	24
4.1.1	Experimento com 700 mL de solução 3% de NaCl (branco)	24
4.1.2	Experimento com 700 mL de solução 3% de NaCl + 5 mL de extrato	26
4.1.3	Experimento com 700 mL de solução 3% de NaCl + 10 mL de extrato	29
4.1.4	Experimento com 700 mL de solução 3% de NaCl + 15 mL de extrato	31
4.2	Curva de Polarização	37

5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	41
5.1	Conclusões	41
5.2	Sugestões	42
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

INTRODUÇÃO

1- INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico ocorrido no último século veio acompanhado de uma maior utilização de peças e estruturas metálicas em todos os setores de nossa sociedade. Este fato torna o estudo da corrosão, particularmente no que diz respeito ao seu controle, fundamental para preservar a vida útil destes materiais, além de minimizar gastos oriundos dos processos corrosivos. Segundo estudo realizado nos Estados Unidos entre 1999 e 2001, estimou-se em US\$ 276 bilhões o custo total da corrosão por ano, sendo que deste valor, US\$ 69 a 82 bilhões poderiam ser economizados se todas as medidas viáveis de prevenção e controle de corrosão fossem postas em prática. No Brasil, a estimativa de gastos relativos a processos corrosivos situa-se na faixa de US\$ 15 bilhões ao ano, podendo-se economizar cerca de US\$ 5 bilhões mediante o uso de métodos de prevenção e controle.

Segundo GENTIL (2003), a corrosão se define como sendo a deterioração de um material, normalmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, aliada ou não a esforços mecânicos.

Dentre as várias técnicas de prevenção e controle destaca-se o emprego de inibidores de corrosão, utilizados em uma vasta gama de processos. Os inibidores de corrosão são substâncias ou misturas de substâncias que, em condições adequadas, no meio corrosivo, reduzem ou eliminam o processo corrosivo. O uso satisfatório dos inibidores vai depender de alguns fatores (FREIRE, 2005):

- i. Causas da corrosão no sistema: identificar o problema
- ii. Custos da utilização: verificar se os custos excedem ou não as perdas provocadas pela corrosão
- iii. Propriedade/mecanismos do inibidor: verificar a compatibilidade do inibidor com o processo e com o material
- iv. Condições de adição e controle: evitar problemas na aplicação e no processo

Verifica-se o uso de inibidores na limpeza química de caldeiras, em vários setores da indústria petrolífera, sistemas de refrigeração, tubos de condensadores, salmoura de refrigeração, sistemas de geração de vapor, tubulações de água potável, tubulações de cobre para água quente, solventes clorados, polimento de metais, misturas anticongelantes, processos de decapagem ácida, minerodutos, proteção de

cobre, proteção de alumínio e proteção temporária de peças ou equipamentos de aço carbono (TELLES, 2003).

Um setor que utiliza os inibidores de corrosão em grande escala é a indústria do petróleo, onde são fundamentais na preservação da integridade das peças metálicas envolvidas desde os processos de extração até os processos de refino (BREGMAN, 1963).

Na etapa de extração destacam-se as atividades de estimulação de poços de petróleo, nas quais soluções ácidas são injetadas de modo a desobstruir os poros e canais da matriz rochosa, recuperando a vazão original do poço. O uso destas soluções impõe uma elevada taxa de corrosão às tubulações o que torna necessária a adição de inibidores. Os inibidores indicados para uso em meio ácido, classificados como inibidores de adsorção, são de natureza orgânica possuindo em sua estrutura grupamentos fortemente polares ou insaturações responsáveis pela adsorção do composto sobre a superfície metálica (CARDOSO, 2005).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – Corrosão

Corrosão é um conceito químico conhecido e usualmente empregado no cotidiano. Apesar de ser comumente associado aos metais, este é um fenômeno muito mais amplo e também ocorre com materiais não metálicos. Devido aos seus diversos tipos, esse processo está presente em diferentes situações, sempre associado à redução da vida útil de um determinado bem (MERÇON *et al.*, 2004).

De acordo com o ambiente e a natureza do processo, a corrosão pode ser classificada em química ou eletroquímica (FREIRE, 2005).

Existe uma grande diferença entre os dois processos corrosivos. Na corrosão eletroquímica, os elétrons movimentam-se no metal, partindo das regiões anódicas para as catódicas, completando-se o circuito elétrico através do eletrólito, que é uma solução iônica. Na corrosão química a capa de óxido sobre o metal atua simultaneamente como condutora de elétrons e de íons (FERNANDEZ, 1984).

Por exemplo, sobre as barras submetidas ao intemperismo se forma uma delgada película de água por condensação da umidade ambiente. O ferro (Fe) do aço se dissolve dentro dessa película e reage com a água e o oxigênio do ar formando hidróxidos e óxidos de ferro. Estes processos são eletroquímicos porque participam dele espécies químicas (Fe, água, O₂ do ar) e elétrons (FREIRE, 2005).

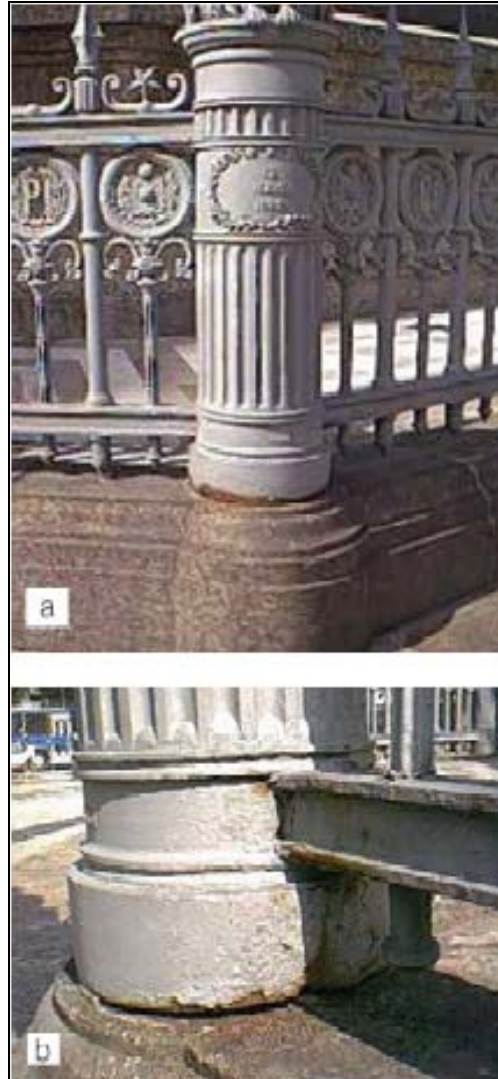


Figura 2.1 – Corrosão eletroquímica, decorrente da exposição atmosférica, no gradil em monumento de ferro fundido: (a) vista da coluna do gradil; (b) detalhe ampliado da base da coluna (MERÇON *et al.*, 2004)

2.1.1 – Corrosão uniforme

Define-se corrosão uniforme como aquela caracterizada pelo ataque em toda a superfície metálica que mantém contato com o meio corrosivo com homogênea diminuição da espessura (CARDOSO, 2005).

Tal corrosão é atribuída a "micropilhas" de ação localizada sendo considerada o mais comum tipo de corrosão principalmente em estruturas expostas à atmosfera e outros meios que propiciem uniformidade do ataque à superfície metálica (CARDOSO, 2005).

Sendo uniforme na superfície, seu acompanhamento por controles diversos é facilitado, como nos casos de equipamentos e instalações. Mesmo sendo de fácil controle, sua ação é importante do ponto de vista de desgaste, pois a redução da espessura do material causa a diminuição de sua resistência a esforços, como as tensões, podendo levar a rupturas. Ou seja, a vida útil do material é reduzida e ele se torna susceptível a possíveis falhas e risco de acidentes (CARDOSO, 2005).

2.1.2 – Corrosão puntiforme ou por pite

A corrosão puntiforme ou por pites é uma forma de corrosão localizada que consiste na formação de pequenas cavidades. Ocorre de maneira extremamente determinada, não apresentando o material circundante nenhum ataque (CARDOSO, 2005).

Sendo uma corrosão que não implica uma homogênea redução da espessura e ocorrendo no interior de equipamentos torna-se um tipo de corrosão de acompanhamento mais difícil (CARDOSO, 2005).

2.1.3 – Outros tipos de corrosão

✓ corrosão intragranular: processa-se entre os grãos dos cristais do metal e como os vergalhões sofrem, principalmente, tensões de tração, podem fissurar ou fraturar perdendo a estabilidade (FREIRE, 2005);

✓ corrosão transgranular: realiza-se intragrãos da rede cristalina, podendo levar à fratura da estrutura, quando houver esforços mecânicos (FREIRE, 2005);

✓ fragilização pelo hidrogênio: corrosão originada pela ação do hidrogênio atômico na sua difusão pelos vergalhões da armadura, propiciando a sua fragilização e, em consequência, a fratura (FREIRE, 2005).

2.2 – Aço-Carbono

O ferro gusa, primeira etapa de fabricação do aço, é o mesmo para todos os produtos. Na fase seguinte, quando os elementos de liga são adicionados ou suprimidos no ferro gusa, é que são determinadas as grandes famílias de aço, dos mais rígidos aos mais estampáveis. O Carbono é o principal elemento endurecedor em relação ao ferro. Outros elementos, como o manganês, o silício e o fósforo, participam igualmente do ajuste do nível de resistência do aço. A quantidade de Carbono define sua classificação: o baixo carbono possui no máximo 0,30% do elemento; o médio carbono apresenta de 0,30 a 0,60% e o alto carbono possui de 0,60 a 1,00% (FREIRE, 1999).

2.2.1 – Características do aço-carbono

Baixo carbono: possui baixa resistência e dureza e, alta tenacidade e ductilidade. É usinável e soldável, além de apresentar baixo custo de produção. Geralmente, este tipo de aço não é tratado termicamente. Aplicações: chapas automobilísticas, perfis estruturais, placas para produção de tubos, construção civil, pontes e latas de folhas de flandres (FREIRE, 1999).

Médio carbono: possui maior resistência e dureza, e menor tenacidade e ductilidade do que o baixo carbono. Apresentam quantidade de carbono suficiente para receber tratamento térmico de têmpera e revenimento, embora o tratamento, para ser efetivo, exija taxas de resfriamento elevadas e em seções finas. Aplicações: rodas e equipamentos ferroviários, engrenagens, virabrequins e outras peças de máquinas, que necessitem de elevadas resistências mecânica e ao desgaste e tenacidade (FREIRE, 1999).

Alto carbono: é o de maior resistência e dureza. Porém, apresentam menor ductilidade entre os aços carbono. Geralmente, são utilizados temperados ou revenidos, possuindo características de manutenção de um bom fio de corte. Aplicações: talhadeiras, folhas de serrote, martelos e facas (FREIRE, 1999).

2.2.2 – Classificação do aço-carbono

Os aços são classificados em Grau, Tipo e Classe, por meio de letra, número, símbolo ou nome. O Grau identifica a faixa de composição química do produto. O Tipo se refere ao processo de desoxidação utilizado, enquanto a Classe descreve outros atributos, como nível de resistência e acabamento superficial. O sistema de classificação mais adotado na prática é o SAE-AISI. Nele, o aço carbono utiliza o grupo 1xxx, e é classificado da seguinte forma (FREIRE, 1999):

10xx: Aço carbono comum (Mn: 1,00% Max.)

11xx: Ressulfurado

12xx: Ressulfurado e Refosforizado

15xx: Aço carbono comum (Mn: 1,00% a 1,65%)

Os aços que possuem requisitos de temperabilidade adicionais recebem um H após a sua classificação. Os últimos dois dígitos, representados pelo xx, representam o conteúdo de carbono do aço (FREIRE, 1999).

2.3 – Inibidores de Corrosão

Segundo definição proposta por SHREIR (1963), inibidores de corrosão são substâncias que, quando adicionadas em pequenas quantidades a um ambiente potencialmente corrosivo para um metal ou liga, efetivamente reduzem a velocidade de corrosão, diminuindo a tendência da reação do metal ou da liga com o meio. A diminuição na velocidade de corrosão está geralmente relacionada, à formação de um filme sobre a superfície metálica que impede a realização da reação anódica e/ou catódica.

2.3.1 – Histórico dos inibidores de corrosão

Existem registros (NATHAN, 1973) que documentam, no início do século XX, o uso de misturas de melaços, amidos e óleos vegetais na proteção de peças de aço-carbono após a decapagem ácida.

Na década de 1920, foram utilizadas por THERESH (1921) e EVANS (1927) adições de silicato de sódio na proteção de aço-carbono sujeitas a águas agressivas. É importante assinalar que o silicato é um produto praticamente inócuo e que não causa problemas ambientais.

Segundo UHLIG (1966), na década de 1930, foram utilizadas na decapagem de aço-carbono várias substâncias orgânicas tais como: toluidinas, fenilhidrazina, piridinas dimetilamina, dibutilamina, quinoleinas, etc. Ainda naquela década foi recomendada pela *American Society of Refrigeration of Engineers* a utilização de cromato de sódio juntamente com hidróxido de sódio visando à proteção de aço-carbono imerso em salmouras de cloreto de sódio ou de cloreto de cálcio (SPELLER, 1930). Tanto os produtos orgânicos citados anteriormente quanto o cromato de sódio são substâncias de alto poder tóxico.

Na década de 1940, o cromato de sódio se destaca e se consagra na proteção anticorrosiva dos sistemas de água de refrigeração, principalmente, nas águas com alta salinidade (DARRIN, 1949). Também sais e óxido de arsênio foram usados com excelentes resultados na decapagem de aço-carbono (HUDSON *et al.*, 1967). Entretanto, é sabido que desde o século XVIII o arsênio e seus compostos são considerados venenos fortíssimos.

A partir da década de 1950, nota-se um avanço e um direcionamento da tecnologia dos inibidores de corrosão no desenvolvimento de sínteses orgânicas orientadas na obtenção de produtos orgânicos com grande eficiência na capacidade de adsorção e formação de filmes aderentes à superfície metálica.

Porém, a maioria destes produtos mostrou-se extremamente tóxica, já que, na época, não havia uma grande preocupação nem com saúde humana e nem com o meio ambiente, objetivando apenas a demanda industrial. O banimento de compostos de arsênio utilizados nos sistemas de acidificação, devido ao seu potencial tóxico, ocorreu a partir da década de 70.

Quanto ao cromato, tem havido uma redução (MAINIER, 1985) do uso devido ao seu alto potencial tóxico; conseqüentemente novas rotas já indicam o uso de molibdatos (MAINIER & MARQUES, 1991) e outros produtos. As grandes empresas praticamente têm desativado o uso de cromato nos sistemas de refrigeração, entretanto o mesmo não tem acontecido nas pequenas e médias torres de refrigeração de supermercados, lojas de departamentos e hotéis. Estima-se que 90 %

destas instalações, localizadas na região do Rio de Janeiro e de São Paulo, ainda utilizam cromato na ordem de 600 a 1000 ppm.

Vê-se claramente nestas rotas tecnológicas apresentadas que, no início do século (décadas 10 e 20), os produtos utilizados como inibidores de corrosão eram inócuos. Entretanto, a necessidade de maior eficiência de proteção anticorrosiva levou à síntese de produtos mais complexos e conseqüentemente mais tóxicos (MAINIER e SILVA, 2004).

Presentemente existe uma preocupação ambiental no sentido de minimizar ou utilizar produtos não tóxicos e compatíveis com o meio ambiente evitando impactos e passivos ambientais (MAINIER e SILVA, 2004).

2.3.2 – Classificação dos inibidores

Os inibidores podem ser classificados conforme seu comportamento em inibidores anódicos, catódicos, mistos ou de adsorção (CARDOSO, 2005).

Os inibidores anódicos têm sua eficiência baseada na polarização das regiões anódicas do metal, devido à formação de um filme aderente, contínuo, insolúvel e de alta resistividade elétrica sobre a superfície metálica, que eleva o potencial do metal para valores mais nobres. São divididos em duas classes: os agentes oxidantes que promovem a passivação do metal, como, por exemplo, os cromatos, nitratos, molibdatos e sais férricos, e os formadores de camada, que precipitam uma camada insolúvel sobre a região anódica, como por exemplo, os hidróxidos, fosfatos, silicatos e benzoatos (GENTIL, 1996).

A utilização dos inibidores anódicos deve ser feita com cautela, pois sua concentração na solução não pode ser inferior a concentração crítica (concentração mínima necessária para ocorrer inibição), o que levaria à formação de um filme não contínuo sobre o substrato metálico. A formação deste filme descontínuo acarretaria uma elevada corrente nas regiões anódicas não protegidas, acelerando a corrosão nestes pontos (CARDOSO, 2005).

Na **Figura 2.2**, visualiza-se, graficamente, a interferência da ação da concentração do inibidor anódico sobre a corrente de corrosão. Repare que a curva catódica (amarela) sofre um giro da esquerda para a direita. A curva anódica (azul) não se altera.

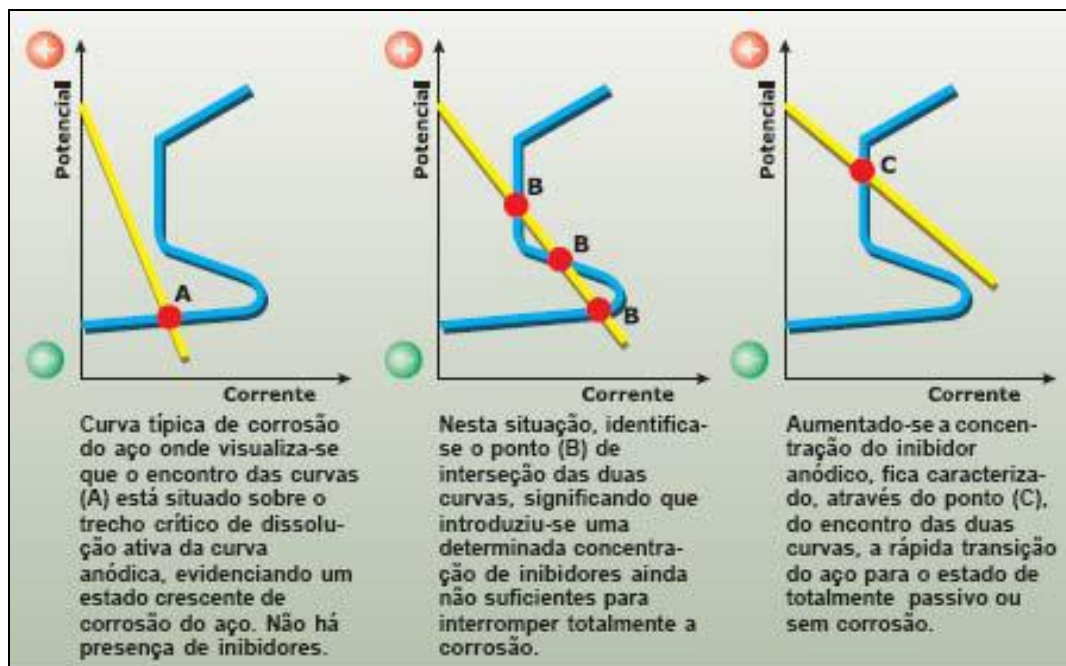


Figura 2.2 – Ação dos inibidores anódicos (SCHULTZ, 2004)

Os inibidores catódicos atuam polarizando as regiões catódicas do metal, reduzindo o fluxo de elétrons nestas regiões, deslocando o potencial para valores mais negativos. Em soluções neutras, estes inibidores propiciam a formação de um filme insolúvel sobre a região catódica, como resultado da reação entre a hidroxila e íons metálicos provenientes do inibidor, ou pela precipitação de compostos insolúveis no ambiente alcalino do catodo, o que impede ou restringe a redução do oxigênio nestas regiões. Como exemplo destes inibidores temos os sulfetos de zinco, magnésio e níquel, polifosfatos, fosfonatos e sais de cálcio, etc. Em soluções ácidas, os inibidores catódicos atuam retardando a difusão dos íons hidrogênio ou aumentando a sobretensão de hidrogênio. Como exemplo citamos os óxidos e sais de antimônio, arsênio e bismuto, que se depositam sobre as regiões catódicas (GENTIL, 1996).

Na **Figura 2.3**, com a interferência da ação dos inibidores catódicos também não há um afetamento da curva anódica do aço. Repare que a curva catódica sofre um giro da direita para a esquerda.

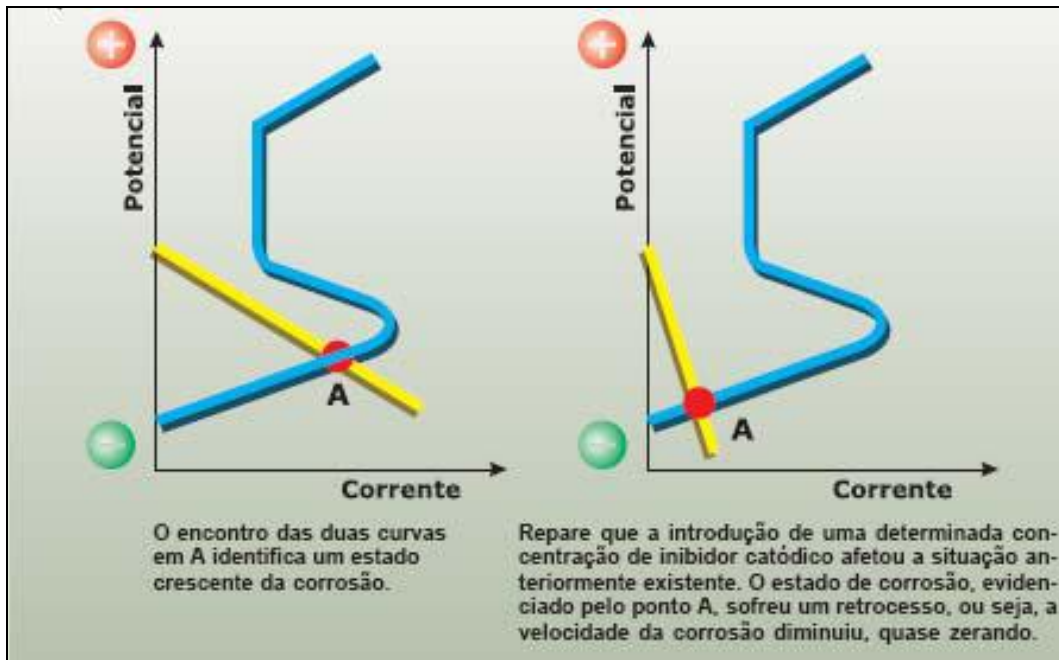


Figura 2.3 – Ação dos inibidores catódicos (SCHULTZ, 2004)

Os inibidores mistos são formados por misturas de inibidores anódicos e catódicos, acarretando um efeito sinérgico com a formação de filme protetor tanto nas regiões catódicas quanto anódicas da superfície metálica (SILVA, 1981).

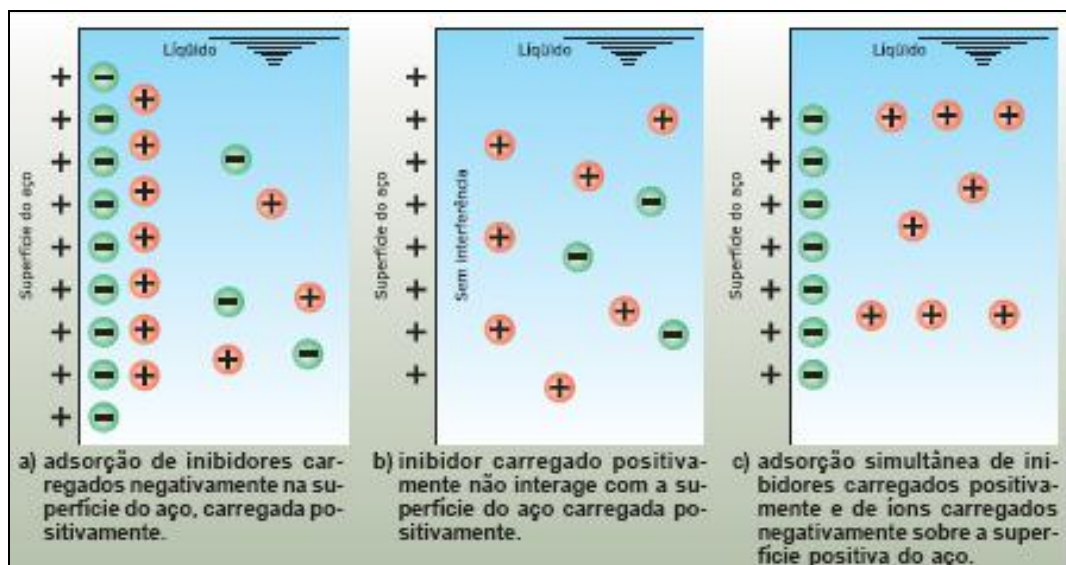


Figura 2.4 – Ação dos inibidores mistos em aço (SCHULTZ, 2004)

Nos inibidores de adsorção ocorre a formação de um filme protetor sobre as regiões catódicas e anódicas da superfície metálica devido ao processo de adsorção entre o inibidor e o metal. Por tratar-se de um processo de adsorção, fatores como a concentração do inibidor, a temperatura, a velocidade e composição do fluido do

sistema, a natureza da superfície metálica e o tempo de contato entre o inibidor e o metal, são fatores que determinam a eficiência do inibidor, que está diretamente ligada a sua capacidade de formar e manter um filme estável sobre a superfície metálica. Os inibidores de adsorção são compostos orgânicos possuidores de insaturações e/ou grupamentos fortemente polares contendo nitrogênio, oxigênio ou enxofre, cuja estrutura geralmente possui partes hidrofóbicas e hidrofílicas ionizáveis. Devem ser solúveis ou facilmente dispersáveis no meio que envolve o metal. Como exemplo temos as aminas, aldeídos, mercaptanas, compostos heterocíclicos nitrogenados, compostos contendo enxofre e compostos acetilênicos (GENTIL, 1996).

2.3.3 – Inibidores em meio ácido

Os inibidores indicados para proteger peças metálicas em meio ácido são os inibidores de adsorção. Estes inibidores são adsorvidos sobre a superfície metálica, muito embora alguns autores considerem ser esta somente a primeira etapa do processo de proteção, sendo necessário caracterizar o tipo de interação envolvida através da análise da cinética de adsorção, do calor de adsorção ou da reversibilidade e do tipo de ligação formada (WEST, 1965).

O processo de adsorção pode ser de duas naturezas: física ou química. No processo físico (fisissorção), a adsorção ocorre através de interações eletrostáticas ou forças de Van der Waals, atuando em toda a superfície metálica, sendo a interação entre adsorbato e adsorvente rápida e fraca. A entalpia de adsorção física possui valores acima de 25 KJ/mol, não sendo forte o bastante para romper as ligações químicas das moléculas adsorvidas, que permanecem íntegras. São processos reversíveis. O processo químico (quimissorção) envolve a formação de ligações covalentes, ocorrendo lentamente e a temperaturas mais elevadas, com alto calor de adsorção. A entalpia de adsorção química possui valores abaixo de -40 KJ/mol, com as moléculas do adsorbato podendo sofrer decomposição. São processos irreversíveis (WEST, 1965).

Segundo proposta de TRABANELLI e CARASSITI (1970) na adsorção química são formadas ligações dativas entre ácidos e bases de Lewis, com o inibidor doando elétrons e o metal atuando como receptor. Desta forma, os inibidores mais eficientes são os adsorvidos quimicamente, estando a interação metal/inibidor relacionada à

estrutura do último, o que torna possível correlacionar características estruturais com propriedades inibidoras.

Conforme teoria proposta por HACKERMAN *et al* (1965), quanto maior a densidade eletrônica de átomos presentes em grupos funcionais na molécula do inibidor, mais intensas são as ligações entre inibidor/metálica. A polarizabilidade do grupo funcional e as características do metal também influenciam na força de quimissorção.

A eficiência dos inibidores de adsorção pode ser aumentada através da combinação de dois inibidores ou pela adição de íons haletos à mistura. Este efeito sinérgico foi analisado por LOSEV (1981) que estudou a influência da adição de íons cloreto, iodeto e brometo em eletrólitos contendo cátions orgânicos na presença de ácido sulfúrico. O autor verificou que a adição do tetrabutilamônio praticamente não altera a capacitância do eletrodo de ferro, indicando fraca adsorção do cátion sobre a superfície metálica. O mesmo efeito foi observado quando da adição de iodeto. Contudo, uma grande redução na capacitância foi observada quando o tetrabutilamônio e o iodeto foram adicionados ao mesmo tempo, levando o autor a concluir que os íons haletos alteram as propriedades da superfície metálica, tornando mais eficiente a adsorção do cátion orgânico. O efeito provocado pelos íons haletos aumenta segundo a ordem $F < Cl < Br < I$.

A seleção do inibidor a ser usado em meio ácido depende do tipo de ácido, sua concentração, temperatura e velocidade de fluxo, da presença de substâncias orgânicas e/ou inorgânicas, e da natureza do metal. A relação eficiência/concentração é o critério mais importante para verificar a eficiência de um inibidor. Alta proteção com baixa concentração de inibidor é recomendada pela vantagem econômica e pela facilidade em se manter a concentração do inibidor apropriada, evitando quantidade insuficiente para inibição (CARDOSO, 2005).

Os inibidores comerciais para meio ácido são formados a partir de um conjunto de, em alguns casos, mais de 30 substâncias, combinadas nos chamados "pacote de inibidores". Estes pacotes podem possuir, além da(s) substância(s) inibidora(s) ativa(s), um solvente e se necessário um co-solvente, e compostos cuja função é ativar a superfície metálica, como agentes umidificantes, detergentes e espumantes (CARDOSO, 2005).

2.4 – Flavonóides antioxidantes

Os flavonóides foram descobertos em 1930 pelo prêmio Nobel Szent-Gyorgy, que extraiu a citrina da casca do limão, possuindo, esta substância, a capacidade de regulação da permeabilidade dos capilares. Assim, esta classe de produtos naturais foi inicialmente denominada como vitamina P (de permeabilidade) e também por vitamina C₂, visto que algumas das substâncias pertencentes a esta classe apresentavam propriedades semelhantes às da vitamina C. Porém, dada a não confirmação destas substâncias como vitaminas, esta classificação foi abandonada em 1950 (MARTÍNEZ *et al.*, 2002).

Estes compostos podem ser definidos como uma classe de metabólitos secundários de plantas, que derivam da condensação de uma molécula de ácido cinâmico com três grupos malonil-CoA e que participam na fase dependente de luz da fotossíntese, durante a qual catalisam o transporte dos elétrons (MARTÍNEZ *et al.*, 2002).

Existem mais de 4.000 flavonóides distintos, que apresentam diversas atividades bioquímicas e farmacológicas, tais como ação antioxidante, antiinflamatória, antialérgica, antiviral e anticarcinogênica. Nos vegetais, além das atividades bioquímicas, os flavonóides atuam como precursores de substâncias tóxicas, pigmentos e protetores da luz (SILVA, 2006).

As principais fontes de flavonóides ou bioflavonóides são as frutas cítricas tais como o limão e a laranja, e frutas como cereja, uva, ameixa, pêra, maçã e mamão, sendo encontrados em maiores quantidades na polpa do que no suco. Pimenta verde, brócolis, repolho roxo, cebola e tomate também são excelentes fontes de bioflavonóides (SILVA, 2006).

Os pigmentos em estudo são compostos de baixo peso molecular, com uma estrutura base C6-C3-C6 (dois anéis fenil – A e B – ligados através de um anel pirano – C), como mostrado na **Figura 2.5**.

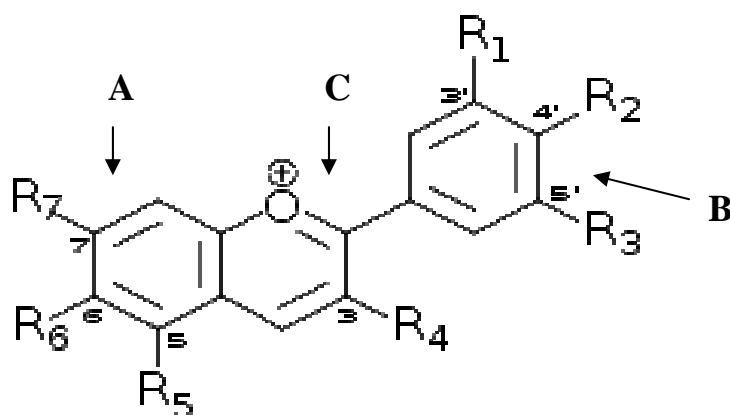


Figura 2.5 – Estrutura base dos flavonóides (SILVA, 2006)

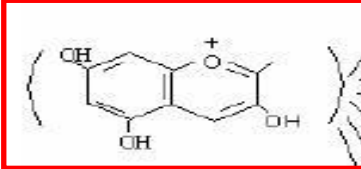

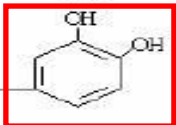
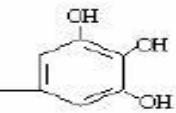
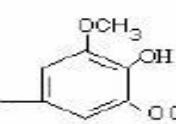
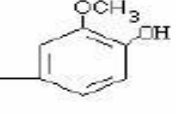
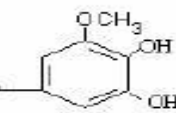
Dependendo da substituição e do nível de oxidação no anel C, os flavonóides podem ser divididos em 14 classes. Dentro da mesma classe, os flavonóides diferem na substituição dos anéis A e B. Estes encontram-se na natureza sob a forma de glicosídeos (SILVA, 2006).

2.4.1 – Antocianinas

As antocianinas pertencem ao grupo dos flavonóides, grupo de pigmentos naturais com estruturas fenólicas variadas. São os componentes de muitas frutas vermelhas e hortaliças escuras, apresentando grande concentração nas cascas de uvas escuras (DOWNHAM e COLLINS, 2000).

Representam um significativo papel na prevenção ou retardam o aparecimento de várias doenças por suas propriedades antioxidantes (MARTÍNEZ *et al.*, 2002). Seu espectro de cor vai do vermelho ao azul, apresentando-se também como uma mistura de ambas as cores resultando em tons de púrpura. Muitas frutas, hortaliças, folhas e flores devem sua atrativa coloração a esses pigmentos que se encontram dispersos nos vacúolos celulares. Os flavonóis são importantes por atuarem na co-pigmentação das antocianinas e são pigmentos de cores branca ou amarela clara, encontrados nesses alimentos.

Na **Figura 2.6** mostra a estrutura do cátion flavilium e as possíveis estruturas do anel B que serão ligados ao cátion, formando assim diversas antocianinas. Também é representado diversas alimentos que possuem as antocianinas citadas.

Estrutura do cátion flavilium	Estrutura do Anel B	Nome	Encontrado em
		Pelargonidina	Morango, amora vermelha, bananeira.
		Cianidina	Jaboticaba, figo, cecroja, uva, cacau, ameixa, jabolão, amora, repolho roxo.
		Delfinidina	Berinjeia, romã e maracujá.
		Malvidina	Uva, feijão.
		Peonidina	Uva, cereja.
		Petunidina	Frutas Diversas, petúnias.

Fonte: BOBBIO e BOBBIO (1995)

Figura 2.6 – Estruturas, nomes e fontes na natureza das principais antocianinas (BOBBIO e BOBBIO, 1995)

MATERIAIS E MÉTODOS

3- MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 – Obtenção do extrato de repolho roxo

Os experimentos foram realizados com o repolho roxo da espécie *Brassica oleracea*. O extrato foi obtido utilizando-se o tecido vegetal picado imerso em cerca de 1L de metanol P.A. e mantido a 15°C por 3 horas, obtendo-se um extrato de coloração vermelho-vinho. O álcool foi acidificado com aproximadamente 6 mL de solução 1M de ácido cítrico até pH 3,5 antes da adição do vegetal.

Após decorrido 3 horas, a parte sólida foi retirada e o líquido restante foi encaminhado para um balão de 250 mL acoplado a um evaporador rotativo (**Figura 3.1**). Em seguida, o banho de aquecimento foi acionado juntamente com a rotação do equipamento, a 60°C e a 150rpm, respectivamente. O balão contendo a solução foi envolto por um revestimento a prova de luz para evitar a degradação dos flavonóides presentes. No momento em que foi evidenciado, visualmente, que todo o metanol tinha sido recuperado, o equipamento foi desligado. O extrato obtido foi acondicionado em um recipiente fotofóbico para a realização dos procedimentos experimentais.



Figura 3.1 – Evaporador Rotativo

3.2 – Teste de perda de massa

Os testes de perda de massa foram realizados utilizando diferentes concentrações do extrato obtido no item 3.1. Esses testes foram realizados em um recipiente utilizando 3 corpos de prova de aço carbono 1010, que foram previamente decapados, conforme norma ASTM G1.

Foram utilizados 700 mL de uma solução 3% (p/v) de NaCl com 5 mL, 10 mL e 15 mL de extrato (**Figura 3.2**). Esses experimentos foram comparados com uma amostra contendo apenas 700 mL da solução 3% (p/v) de NaCl sem extrato (branco). Os corpos de prova ficaram imersos durante 762 horas.

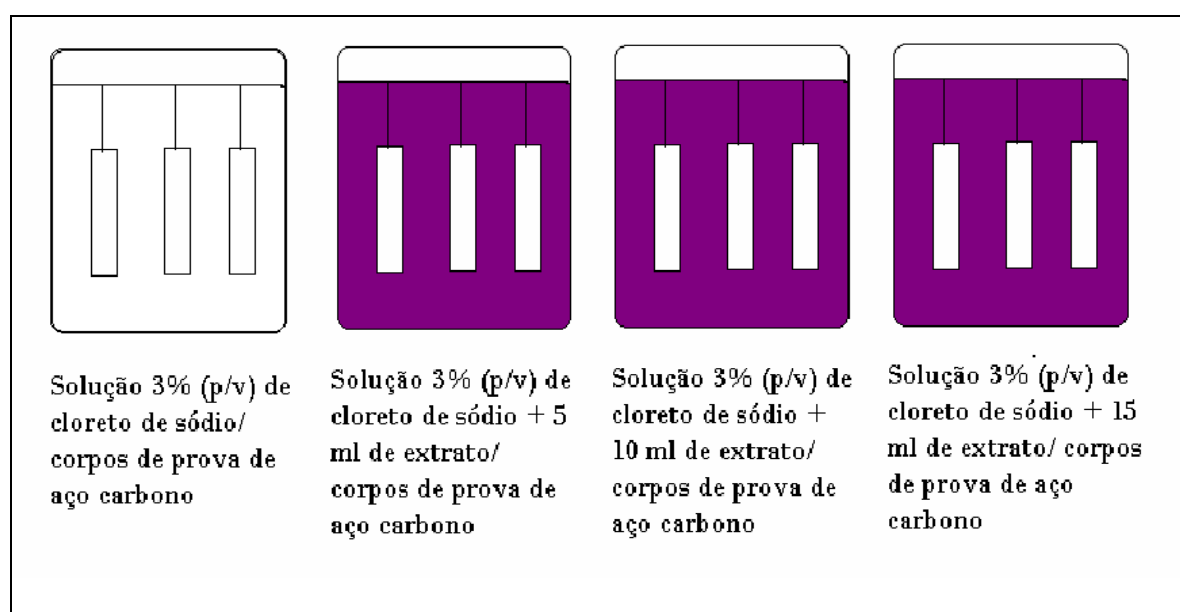


Figura 3.2 - Esquema de preparação do ensaio de perda de massa

3.2.1 – Decapagem ácida

A decapagem ácida, ou limpeza química, tem por objetivo eliminar os produtos de corrosão extremamente aderentes à superfície metálica.

Ao final do teste realizado no item 3.2 os corpos de prova eram removidos, inspecionados visualmente, decapados com a solução de Clark e pesados novamente, conforme norma ASTM G1. Com a variação de massa de cada placa, pelo tempo de exposição (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50 segundos) na solução de Clark, foi determinada a taxa de corrosão generalizada média.

3.3 – Curva de Polarização

A curva de polarização foi realizada para possibilitar a identificação ou não de passivação, sendo possível detectar, assim, qual tipo de inibição oferecida pelo extrato de repolho roxo. A passivação é a modificação do potencial de um eletrodo no sentido de menor atividade (mais catódico ou mais nobre) devido a formação de uma película de produto de corrosão denominada película passivante.

Foram utilizados no experimento 3 tipos de eletrodos:

- 1) Eletrodo de referência – Eletrodo Calomelano Saturado (ECS)
- 2) Contra-eletrodo – Platina
- 3) Eletrodo de trabalho – Aço-carbono 1010 (corpo de prova)

O eletrodo de referência é utilizado para monitorar o eletrodo de trabalho e o contra-eletrodo tem a função de estabilizar a corrente do sistema.

A determinação experimental da curva de polarização foi executada através do método potencioestático que é caracterizado pelo fato de ter como variável de controle o potencial. Para variar o potencial aplicado ao corpo de prova em estudo foi utilizado o potencioestato OMINIMETRA PG3002.

Foram realizadas duas curvas de polarização, sendo uma com 700 mL de solução NaCl 3% (p/v) e a outra adicionando 15 mL de extrato de repolho roxo na solução de NaCl 3% (p/v).

O esquema dos 3 eletrodos colocados em contato com o meio para análise do potencial de corrosão e ligados ao potencioestato é apresentado na **Figura 3.3**.

Na **Figura 3.4** mostra o detalhe dos 3 eletrodos em contato com meio: (a) solução salina 3% (p/v); (b) solução salina 3% (p/v) + 15 mL de extrato de repolho roxo.

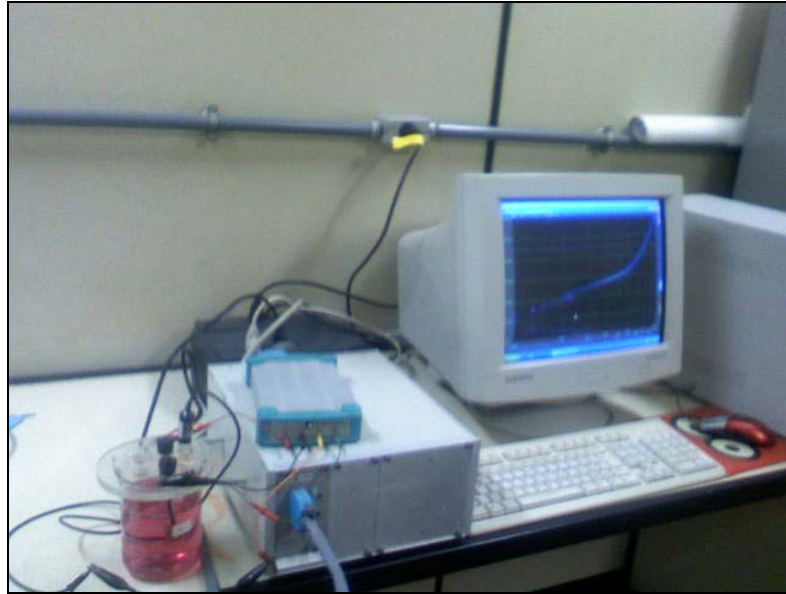
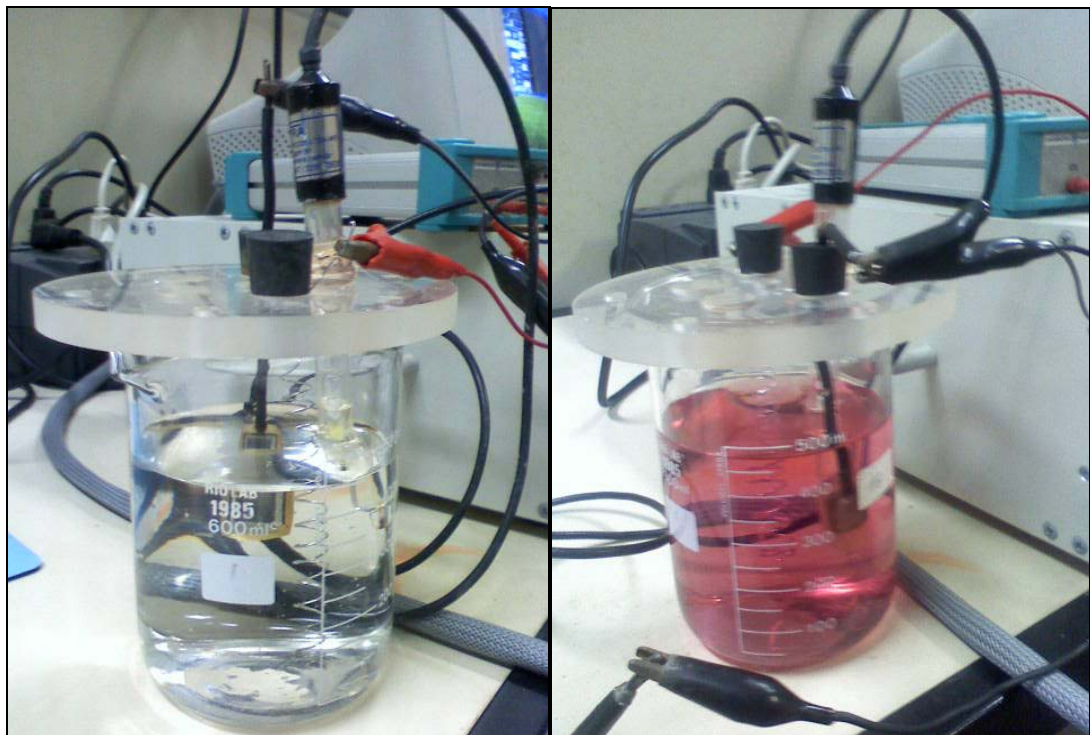


Figura 3.3 – Equipamentos utilizados para realização da curva de polarização



(a)

(b)

Figura 3.4 – Detalhe dos 3 eletrodos em contato com meio: (a) solução salina 3% (p/v); (b) solução salina 3% (p/v) + 15 mL de extrato de repolho roxo.

Com os dados obtidos durante o ensaio foi possível gerar um gráfico $V \times \text{mA/cm}^2$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4- RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Teste de perda de massa

4.1.1 – Experimento com 700 mL de solução 3% (p/v) de NaCl (branco)

Como um corpo de prova foi perdido, só apresentaremos os dados de dois corpos de prova que foram utilizados nesse experimento.

Peso dos corpos de prova antes do teste:

$$A = 29,3555 \text{ g}$$

$$B = 28,7022 \text{ g}$$

Peso dos corpos de prova após o teste e relacionado com o tempo de permanência na solução de Clark (Decapagem):

Tabela 4.1 – Peso dos corpos de prova A e B E após o teste e a decapagem

Tempo (s)	A (g)	B (g)
0	29,1931	28,5624
5	29,1487	28,5180
10	29,1249	28,4981
15	29,1133	28,4896
20	29,1073	28,4856
25	29,1045	28,4844
30	29,1035	28,4833
35	29,1034	28,4833
40	29,1024	28,4827
45	29,1016	28,4821
50	29,1016	28,4819

Para construção do gráfico foi feita a diferença de massa dos corpos de prova após a decapagem e antes de entrarem no teste de massa:

Tabela 4.2 – Diferença de massa dos corpos de prova (A e B)

Tempo (s)	A (g)	B (g)
0	0,1624	0,1398
5	0,2068	0,1842
10	0,2306	0,2041
15	0,2422	0,2126
20	0,2482	0,2166
25	0,2510	0,2178
30	0,2520	0,2189
35	0,2521	0,2189
40	0,2531	0,2195
45	0,2539	0,2201
50	0,2539	0,2203

A partir dos dados presentes na **Tabela 4.2** foram plotados os gráficos listados abaixo (Δm x Tempo).

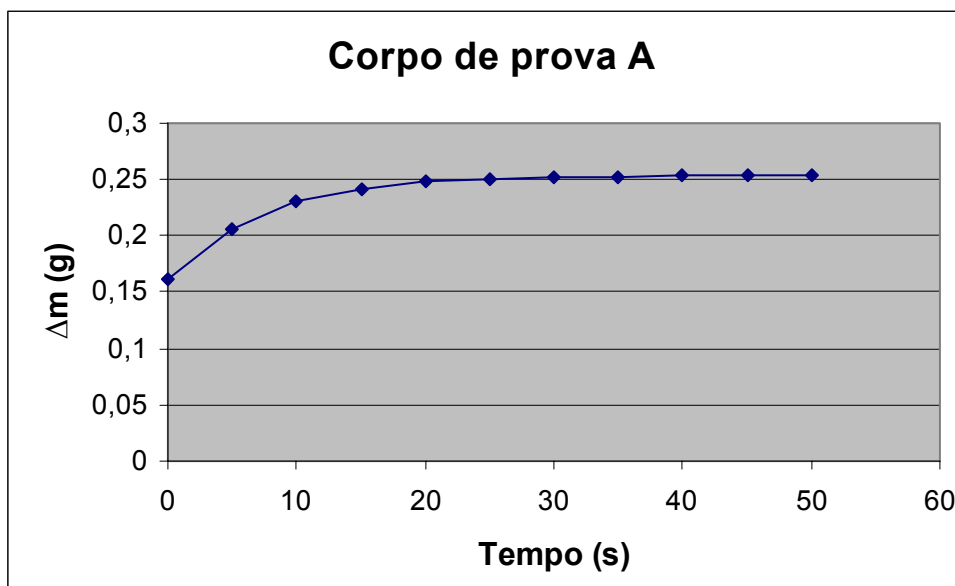


Figura 4.1 – Gráfico do corpo de prova A

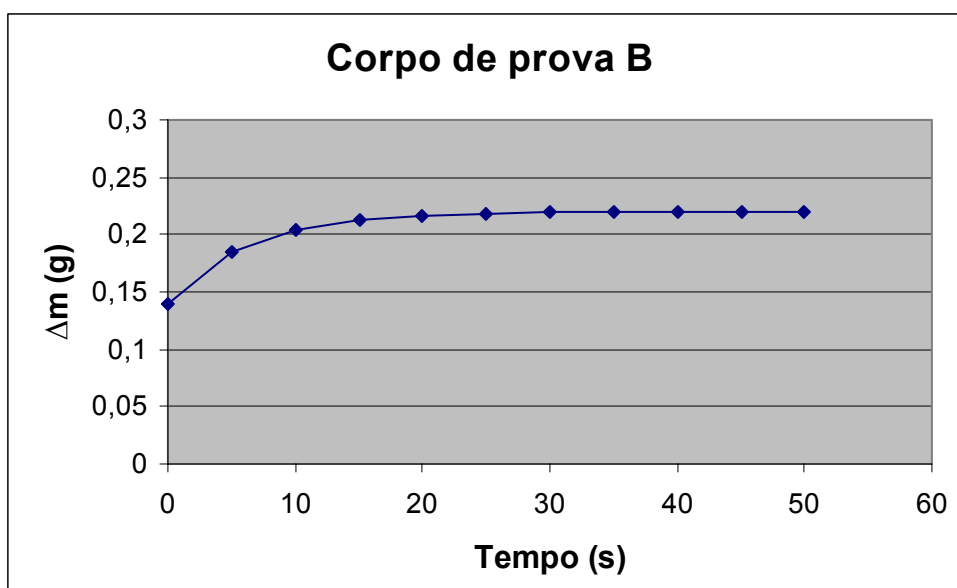


Figura 4.2 – Gráfico do corpo de prova B

4.1.2 – Experimento com 700 mL de solução 3% (p/v) de NaCl + 5 ml de extrato

Peso dos corpos de prova antes do teste:

C = 29,0857 g

D = 30,1490 g

E = 27,4951 g

Peso dos corpos de prova após o teste e relacionado com o tempo de permanência na solução de Clark (Decapagem):

Tabela 4.3 – Peso dos corpos de prova C, D e E após o teste e a decapagem

Tempo (s)	C (g)	D (g)	E (g)
0	29,0347	30,0950	27,4598
5	29,0193	30,0814	27,4508
10	29,0142	30,0778	27,4488
15	29,0110	30,0752	27,4459
20	29,0084	30,0740	27,4458
25	29,0065	30,0721	27,4442
30	29,0047	30,0704	27,4430
35	29,0041	30,0695	27,4420
40	29,0032	30,0681	27,4407
45	29,0020	30,0676	27,4397
50	29,0011	30,0664	27,4381

Para construção do gráfico foi feita a diferença de massa dos corpos de prova após a decapagem e antes de entrarem no teste de massa:

Tabela 4.4 – Diferença de massa dos corpos de prova (C, D e E)

Tempo (s)	C (g)	D (g)	E (g)
0	0,0510	0,0540	0,0353
5	0,0664	0,0676	0,0443
10	0,0715	0,0712	0,0463
15	0,0747	0,0738	0,0492
20	0,0773	0,0750	0,0493
25	0,0792	0,0769	0,0509
30	0,0810	0,0786	0,0521
35	0,0816	0,0795	0,0531
40	0,0825	0,0809	0,0544
45	0,0837	0,0814	0,0554
50	0,0846	0,0826	0,0570

A partir dos dados presentes na **Tabela 3** foram plotados os gráficos listados abaixo ($\Delta m \times$ Tempo).

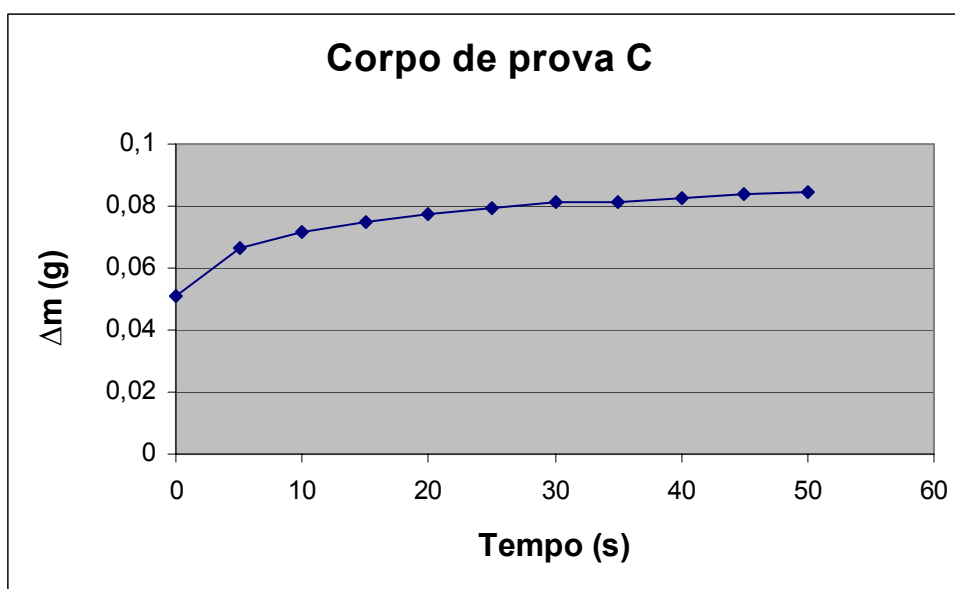


Figura 4.3 – Gráfico do corpo de prova C

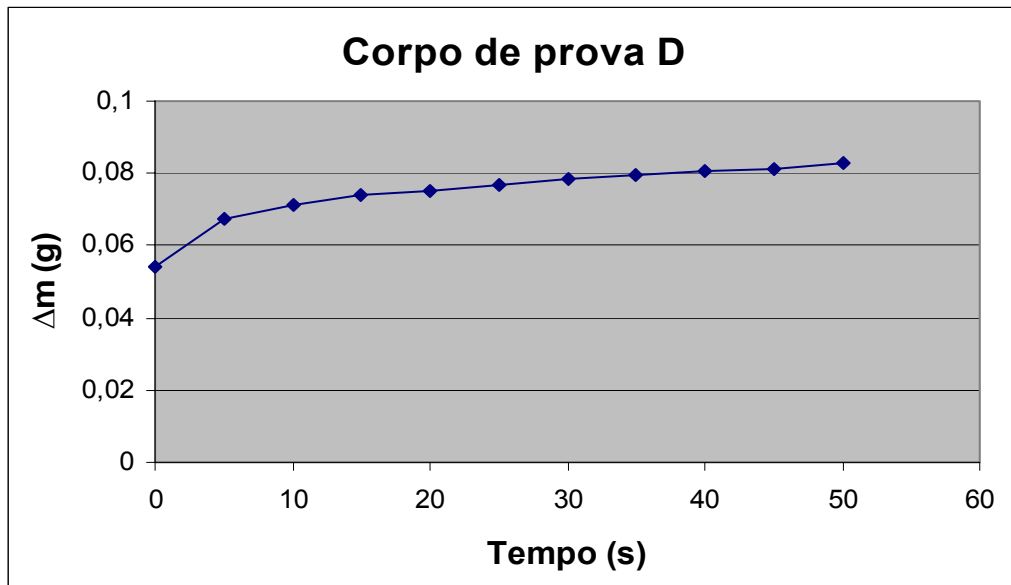


Figura 4.4 – Gráfico do corpo de prova D

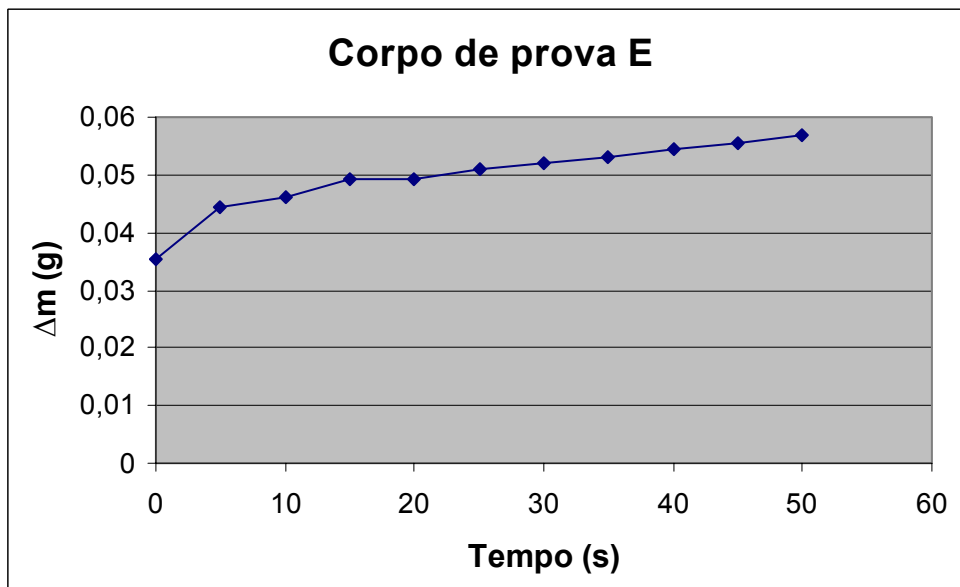


Figura 4.5 – Gráfico do corpo de prova E

4.1.3 – Experimento com 700 mL de solução 3% (p/v) de NaCl + 10 ml de extrato

Peso dos corpos de prova antes do teste:

$$F = 28,9964 \text{ g}$$

$$G = 30,9618 \text{ g}$$

$$H = 32,8968 \text{ g}$$

Peso dos corpos de prova após o teste e relacionado com o tempo de permanência na solução de Clark (Decapagem):

Tabela 4.5 – Peso dos corpos de prova F, G e H após o teste e a decapagem

Tempo (s)	F (g)	G (g)	H (g)
0	28,9692	30,9331	32,8464
5	28,9480	30,9130	32,8311
10	28,9384	30,9072	32,8263
15	28,9330	30,9053	32,8237
20	28,9300	30,9039	32,8216
25	28,9279	30,9035	32,8208
30	28,9266	30,9026	32,8197
35	28,9260	30,9014	32,8189
40	28,9256	30,9010	32,8181
45	28,9246	30,9004	32,8175
50	28,9241	30,8997	32,8164

Para construção do gráfico foi feita a diferença de massa dos corpos de prova após a decapagem e antes de entrarem no teste de massa:

Tabela 4.6 – Diferença de massa dos corpos de prova (F, G e H)

Tempo (s)	F (g)	G (g)	H (g)
0	0,0272	0,0287	0,0504
5	0,0484	0,0488	0,0657
10	0,0580	0,0546	0,0705
15	0,0634	0,0565	0,0731
20	0,0664	0,0579	0,0752
25	0,0685	0,0583	0,0760
30	0,0698	0,0592	0,0771
35	0,0704	0,0604	0,0779
40	0,0708	0,0608	0,0787
45	0,0718	0,0614	0,0793
50	0,0723	0,0621	0,0804

A partir dos dados presentes na **Tabela 5** foram plotados os gráficos listados abaixo ($\Delta m \times \text{Tempo}$).

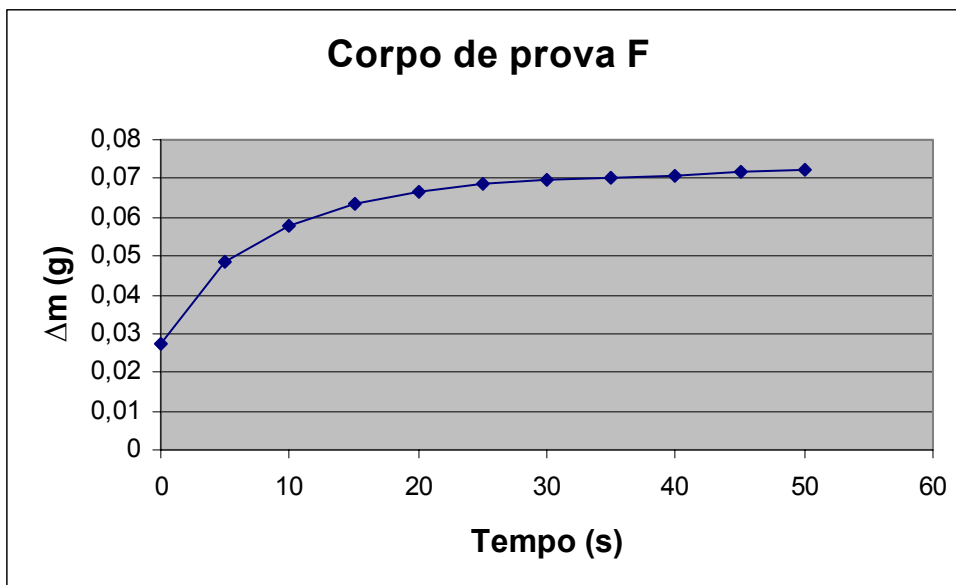


Figura 4.6 – Gráfico do corpo de prova F

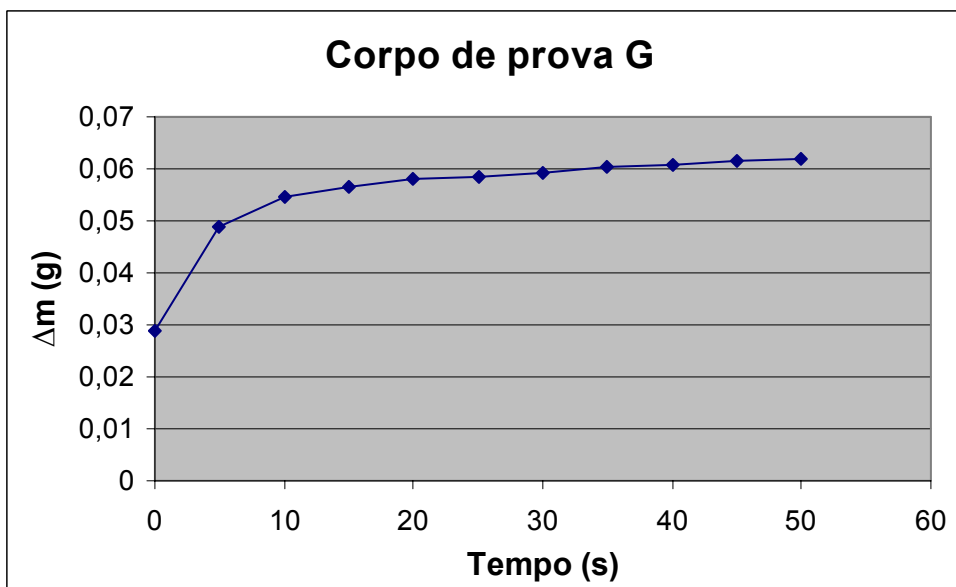


Figura 4.7 – Gráfico do corpo de prova G

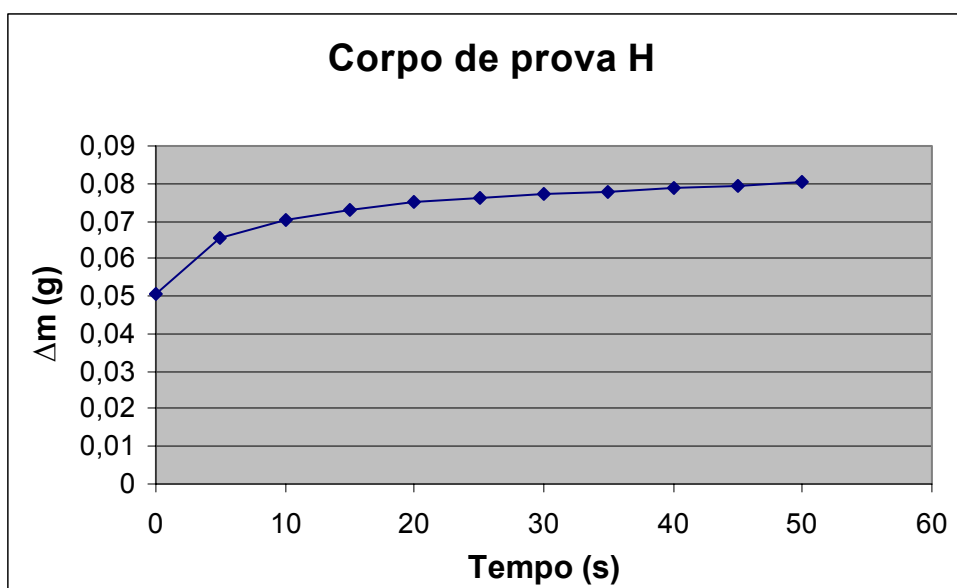


Figura 4.8 – Gráfico do corpo de prova H

4.1.4 – Experimento com 700 mL de solução 3% (p/v) de NaCl + 15 ml de extrato

Peso dos corpos de prova antes do teste:

$$I = 32,6434 \text{ g}$$

$$J = 32,8984 \text{ g}$$

$$K = 31,6695 \text{ g}$$

Peso dos corpos de prova após o teste e relacionado com o tempo de permanência na solução de Clark (Decapagem):

Tabela 4.7 – Peso dos corpos de prova I, J e K após o teste e a decapagem

Tempo (s)	I (g)	J (g)	K (g)
0	32,6199	32,8796	31,6489
5	32,6003	32,8602	31,6316
10	32,5955	32,8565	31,6277
15	32,5917	32,8495	31,6230
20	32,5905	32,8480	31,6228
25	32,5874	32,8442	31,6213
30	32,5853	32,8421	31,6177
35	32,5841	32,8408	31,6165
40	32,5824	32,8389	31,6157
45	32,5797	32,8370	31,6125
50	32,5817	32,8364	31,6123

Para construção do gráfico foi feita a diferença de massa dos corpos de prova após a decaagem e antes de entrarem no teste de massa:

Tabela 4.8 – Diferença de massa dos corpos de prova (I, J e K)

Tempo (s)	I (g)	J (g)	K (g)
0	0,0235	0,0188	0,0206
5	0,0431	0,0382	0,0379
10	0,0479	0,0419	0,0418
15	0,0517	0,0489	0,0465
20	0,0529	0,0504	0,0467
25	0,0560	0,0542	0,0482
30	0,0581	0,0563	0,0518
35	0,0593	0,0576	0,0530
40	0,0610	0,0595	0,0538
45	0,0637	0,0614	0,0570
50	0,0617	0,0620	0,0572

A partir dos dados presentes na **Tabela 7** foram plotados os gráficos listados abaixo ($\Delta m \times$ Tempo).

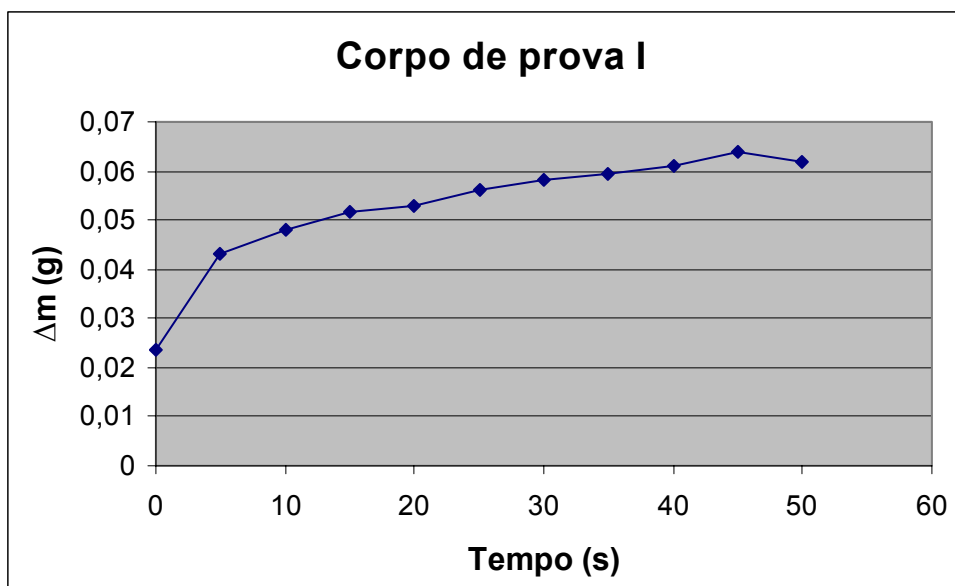


Figura 4.9 – Gráfico do corpo de prova I

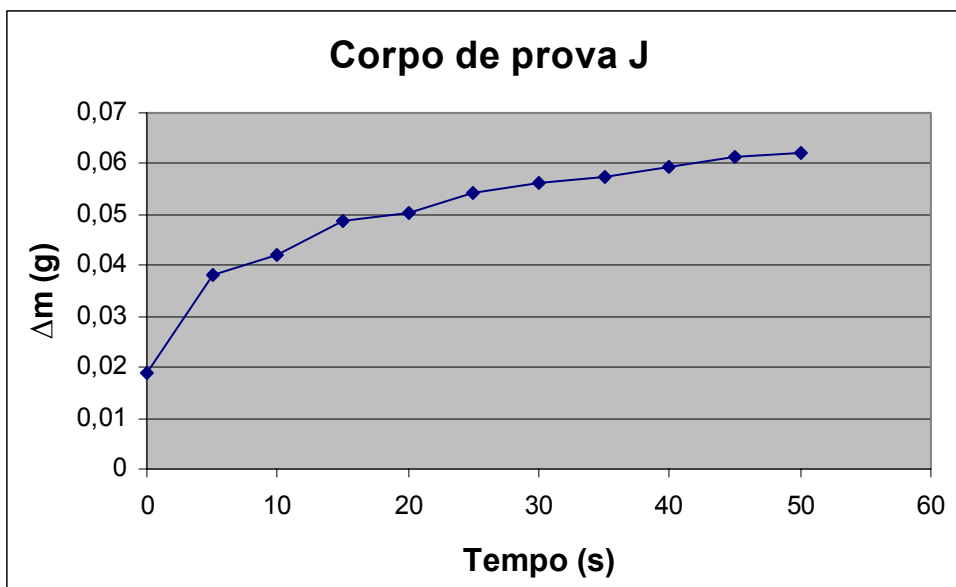


Figura 4.10 – Gráfico do corpo de prova J

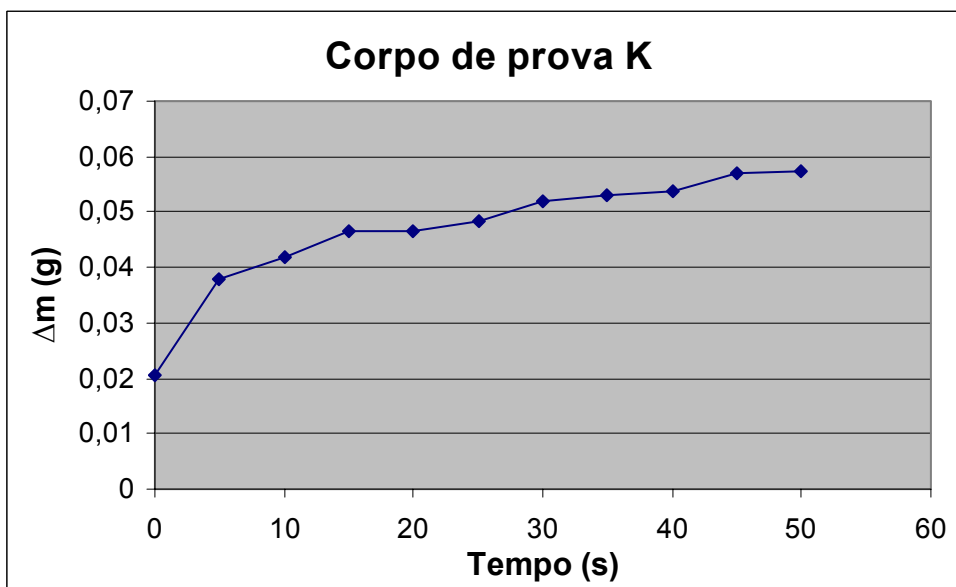


Figura 4.11 – Gráfico do corpo de prova K

Após todos esses gráficos foram calculadas as taxas de corrosão de cada experimento pela equação descrita abaixo:

$$TC = \frac{8,76 \times 10^4 * \Delta m(g)}{A(cm^2) * T(H) * D(g/cm^3)}, \text{ onde } D = 7,8 \text{ g/cm}^3.$$

O Δm foi calculado a partir das curvas plotadas nos gráficos experimentais. Com a aproximação da curva traçada por duas retas, a interseção entre elas forneceu o Δm desejado para cada corpo de prova (A ao K). Segue abaixo o gráfico do corpo de prova D (**Figura 4.12**) com as retas traçadas que representam o processo descrito. Note que o Δm pode ser considerado igual a aproximadamente 0,076 conforme mostra a interseção das retas. Os resultados encontram-se na **Tabela 4.9** juntamente com suas respectivas áreas.

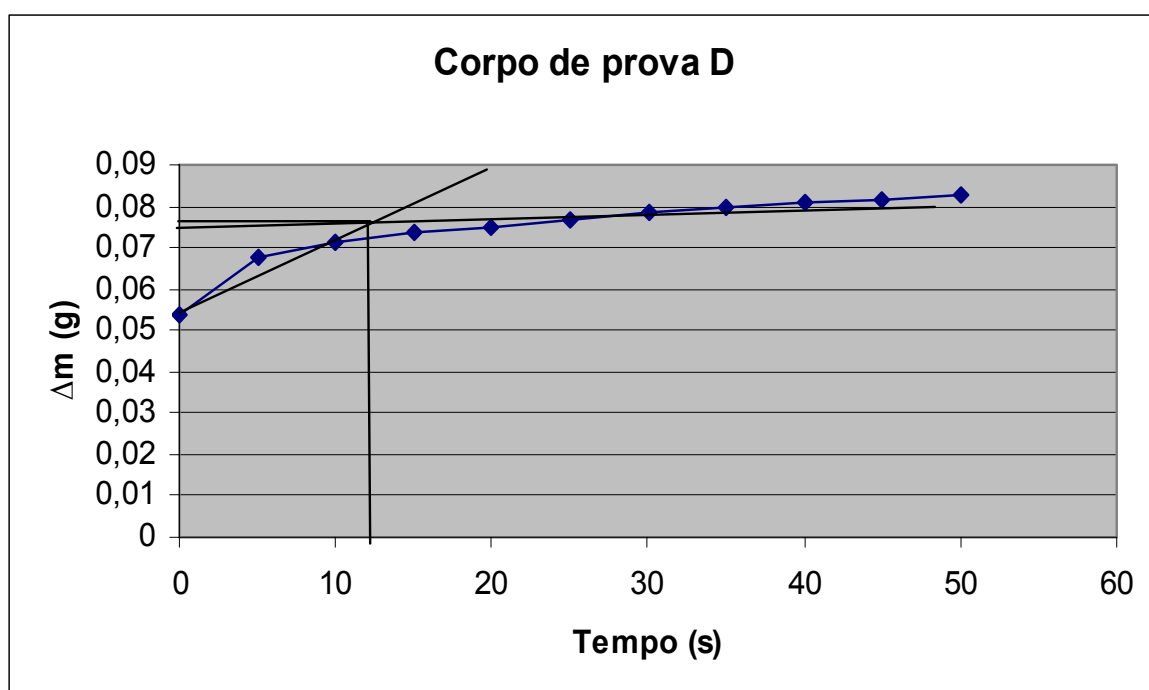


Figura 4.12 – Gráfico do corpo de prova D

Tabela 4.9 – Valores dos Δm 's e das áreas

CORPO DE PROVA	Δm (g)	ÁREA (cm ²)
A	0,2500	24,7653
B	0,2200	24,3351
C	0,0800	24,2528
D	0,0760	25,0033
E	0,0520	24,0150
F	0,0680	24,4063
G	0,0600	25,2206
H	0,0740	26,3137
I	0,0520	26,2674
J	0,0540	26,7233
K	0,0430	25,7008

Na **Tabela 4.10** estão localizadas as taxas de corrosão calculadas e a eficiência de cada experimento. As eficiências foram obtidas conforme a equação a seguir.

$$Eficiência = \frac{taxa\ de\ corrosão\ média\ (branco) - taxa\ de\ corrosão\ média\ (experimento)}{taxa\ de\ corrosão\ média\ (branco)}$$

Tabela 4.10 – Valores das taxas de corrosão e das eficiências calculadas

EXPERIMENTO	TAXA DE CORROSÃO (mm/ano)	TAXA DE CORROSÃO MÉDIA (mm/ano)	EFICIÊNCIA (%)
700 mL de solução NaCl 3% (branco)	$TC_A = 0,1487$	0,1409	-
	$TC_B = 0,1332$		
700 mL de solução NaCl 3% + 5 mL de inibidor	$TC_C = 0,0486$	0,0413	70,6
	$TC_D = 0,0436$		
	$TC_E = 0,0319$		
700 mL de solução NaCl 3% + 10 mL de inibidor	$TC_F = 0,0410$	0,0391	72,2
	$TC_G = 0,0350$		
	$TC_H = 0,0414$		
700 mL de solução NaCl 3% + 15 mL de inibidor	$TC_I = 0,0291$	0,0278	80,2
	$TC_J = 0,0297$		
	$TC_K = 0,0246$		

Pela **Tabela 4.10** podemos identificar que a eficiência do inibidor foi satisfatória, visto que de acordo com que a quantidade de extrato de repolho aumenta, a taxa de corrosão diminui e a sua eficiência aumenta.

4.2 – Curva de polarização

Com os dados obtidos durante o ensaio foi possível gerar os gráficos referentes à solução com 700 mL de solução NaCl 3% (p/v) (branco) (**Figura 4.13**), à solução com 700 mL de solução de NaCl 3% (p/v) + 15 mL de inibidor (**Figura 4.14**) e à comparação entre os dois (**Figura 4.15**). Os resultados encontram-se a seguir.

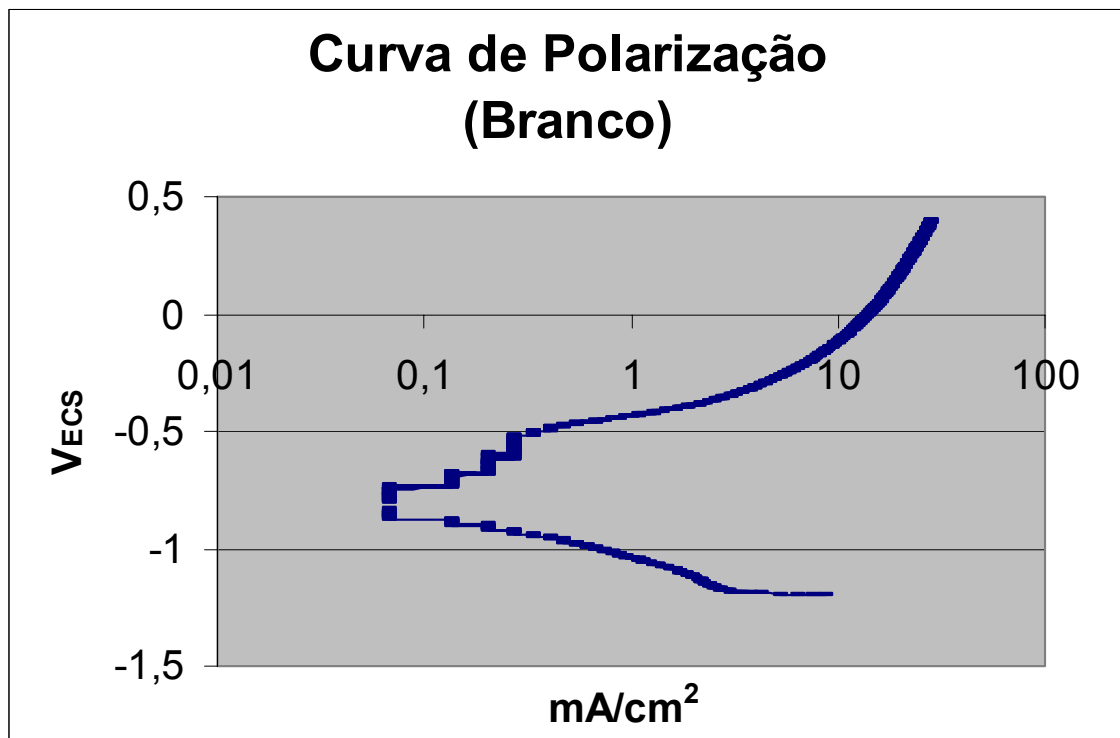


Figura 4.13 – Curva de Polarização (Solução NaCl 3%)

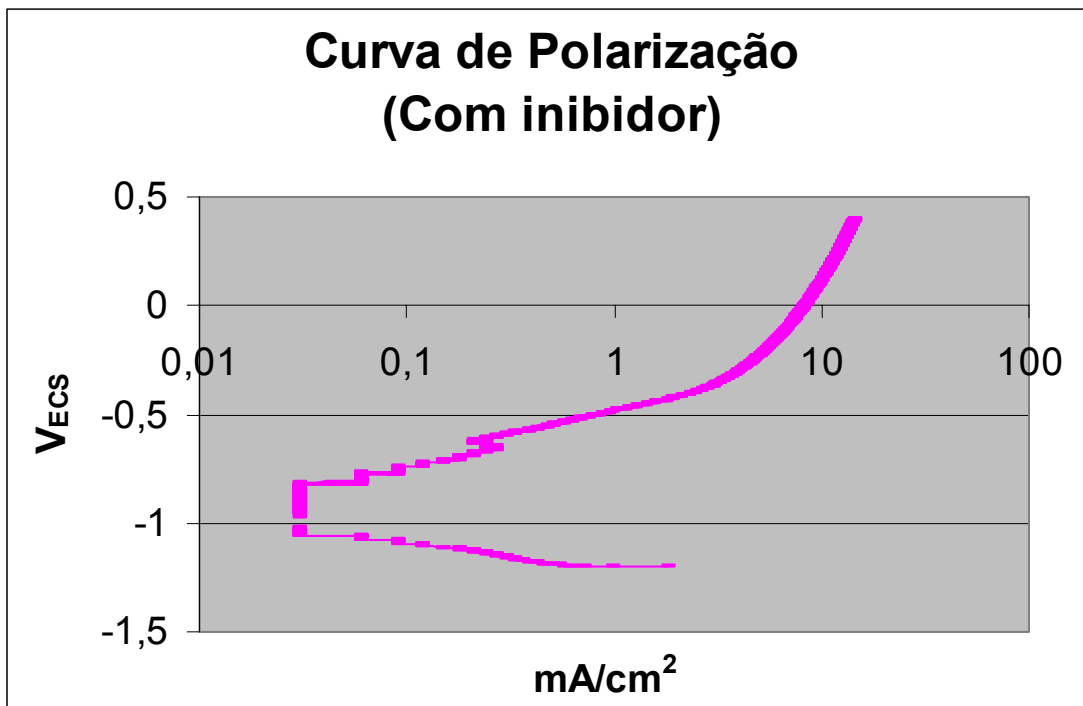


Figura 4.14 – Curva de Polarização (Solução NaCl 3% (p/v) + 15 mL de extrato de repolho)

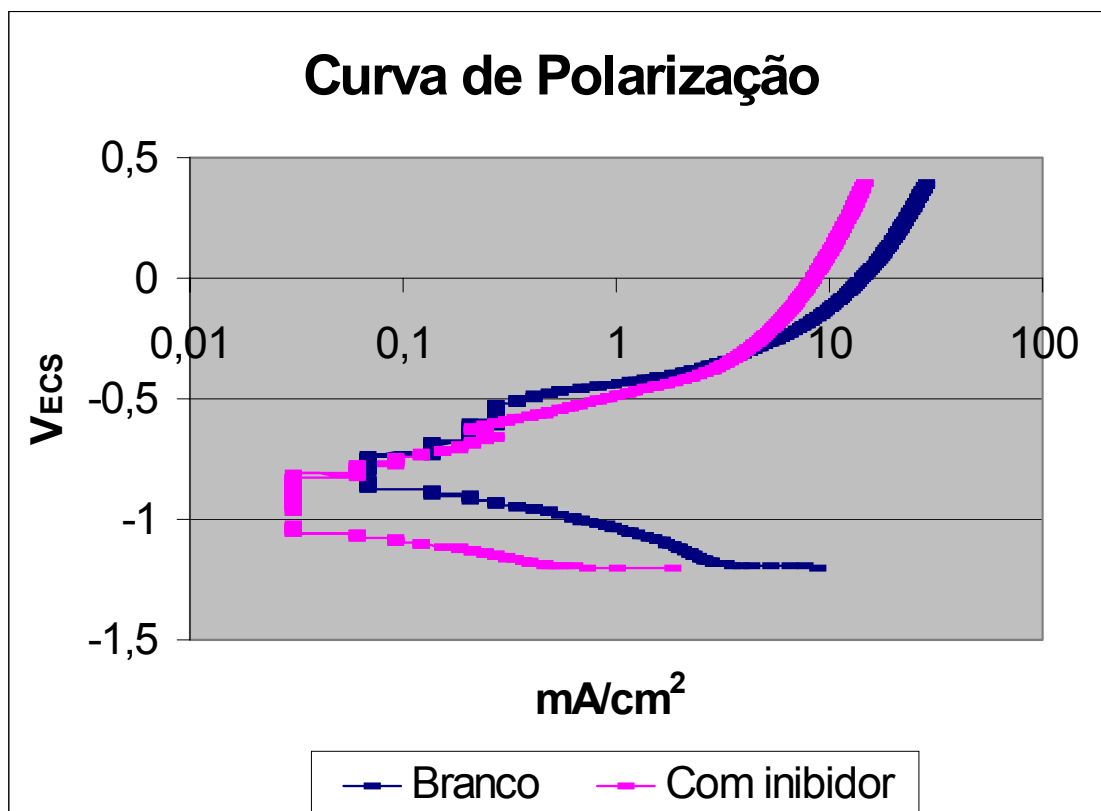


Figura 4.15 – Comparação das Curvas de Polarização

Com base nos gráficos acima, podemos concluir que o extrato do repolho roxo foi eficiente na inibição de corrosão do aço-carbono, confirmando assim os resultados do teste de perda de massa.

Pela **Figura 4.15** podemos identificar que o potencial de corrosão do aço-carbono sem a presença do extrato de repolho era aproximadamente $-0,740 V_{ECS}$. Com a presença do extrato de repolho atuando como inibidor, o potencial de corrosão do aço-carbono caiu para aproximadamente $-0,910 V_{ECS}$, provando assim a inibição da corrosão.

Pelos gráficos gerados não é possível a identificação da classificação do inibidor, sendo necessária a realização de mais testes para tal verificação.

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5- CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 – Conclusões

1. O evaporador rotativo se mostrou eficiente para a obtenção do extrato do repolho roxo.
2. O teste de perda de massa demonstrou que o inibidor utilizado é eficaz no combate à corrosão, dentro dos limites estudados.
3. A curva de polarização comprovou que há inibição de corrosão pelo inibidor estudado, revelando sua possível característica catódica.
4. O extrato de repolho roxo é eficiente quando utilizado como inibidor de corrosão.

5.2 – Sugestões

1. Realizar novo teste de perda de massa com uma maior concentração do inibidor almejando a concentração ótima.
2. Promover uma análise estatística para perda de massa a fim de calcular o erro experimental.
3. Realizar a medição do pH das soluções utilizadas nos experimentos.
4. Realizar novos ensaios de polarização com diversas concentrações para verificar o efeito da concentração sobre a proteção do substrato.
5. Comparar a eficiência do inibidor estudado com outros extratos obtidos a partir dos dados da Figura 8.
6. Estudar a aplicabilidade do extrato do repolho roxo como inibidor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOBBIO, P.A.; BOBBIO, F.O. **Química do processamento de alimentos: pigmentos**, 2 ed.,Campinas: Varela, p 105-120, 1995.

BREGMAN, J.I., **Corrosion Inhibitor** 2º Edição, New York, The Macmillan Company, 1963.

CARDOSO, A. S., **Aumento da confiabilidade no sistema de topo em Unidade de Destilação de Refinaria de Petróleo**, UFSC, Dissertação de mestrado, 2005.

DARRIN, M., **Corrosion inhibition with chromate - Gas processing plants and refineries**, Oil & Gas J., p.156-161, 1949.

DOWNHAM A., COLLINS P., **Colouring our foods in the last and next millennium**. Int J Food Sci Technol, 35(1):5-22, 2000.

EVANS, U.R. **Journal Chemical Society and Chemical Industrial** 46, p. 354 T , 1927.

FERNANDEZ, J. A. G. , coord. **Teoria y práctica de la lucha contra la corrosion**. Madrid, Consejo superior de investigaciones científicos, 1984.

FREIRE, C., **O que é aço-carbono?** In: <http://www.infomet.com.br>, 1999

FREIRE, K.R.R., **Avaliação do desempenho de inibidores de corrosão em armaduras de concreto**, Universidade Federal do Paraná, Dissertação de mestrado, 2005.

GENTIL, V., **Corrosão**, 4º Edição, Editora LTC, 2003.

GENTIL, V., **Corrosão**. 3º Edição. Rio de Janeiro, LTC-Livros Técnicos e Científicos S.A., 1996.

HACKERMAN, N., ANNAND, R.R., HURD, R.M. **The Basis for an Adsorption Theory on Organic Inhibitors**, Journal Electrochemical Society, 1965.

HUDSON, R.M.; LOONEY, Q.L.; WARNING, C.J., **Coal tar base fractions as pickling inhibitors in hydrochloric and sulphuric acid solutions**. Brit. Corros. J., 2, no.3, p.81-86, 1967.

LOSEV, V.V., DOKL, A., Nauk SSSR, 88 (3), 499, 1953 In: ROZENFELD, I. L., **Corrosion inhibitors**. New York, MacGraw Hill INC., pp 110, 1981.

MAINIER, F. B., **Estudo da viabilidade da diminuição da adição de cromatos como inibidores de corrosão em fluidos de completação**. Anais: Seminário de Completação e Estimulação de Poços, 8, Salvador, p.36, 1985.

MAINIER, F.B., MARQUES, L.C.C., **Inibidor de corrosão à base de molibdato para fluidos salinos**, Petro & Química, ano XV, nº 144, outubro, p. 36-39,1991.

MAINIER, F.B., SILVA, R.R.C.M., **As formulações inibidoras de corrosão e o meio ambiente**, ENGEVISTA, v. 6, n. 3, p. 106-112, 2004

MARTÍNEZ S.F., GONZÁLEZ, J.G., CULEBRAS, J.M., TUÑÓN, M.J., **Los flavonóides: propiedades y acciones antioxidantes**. Nutr Hosp;17(6):271-8, 2002.

MERÇON, F., GUIMARÃES, P.I.C., MAINIER, F.B., **Corrosão: Um exemplo usual de fenômeno químico**, Química nova na escola, 2004

NATHAN, C.C. **Corrosion Inhibitors**, Houston, Texas: National Association of Corrosion Engineers (NACE), 1973.

SCHULTZ, M., **Inibidores de corrosão**, Survey of Praticce, 2004

SHREIR, L. L., **Corrosion**. Vol. 2, New York, John Wiley & Sons, 1963.

SILVA, M.B.S., **Flavonóides com capacidade antioxidante** . Química aplicada, 2006.

SILVA, P.F., **Introdução à corrosão e proteção das superfícies metálica**. Imprensa Universitária da UFMG, Belo Horizonte 1981.

SPELLER, F.N. **Corrosion in refrigeration plant**, American Society of Refrigeration of Engineers, Circ. 10, 1930.

TELLES, P. C. S., **Materiais para equipamentos de processos**, 6º Edição, Rio de Janeiro, Editora Interciência, 2003.

THERESH, J.C., **Analyst**, nº 46, p.270, 1921.

TRABANELLI, G., CARASSITI, V. **Mechanism and Phenomology of Organic Inhibitors**, In: FONTANA, G.M., ATAEHLE, W.R. *Advances in Corrosion Science and Technology* v.1, Plenum Press, New York, 1970.

UHLIG, H.H. **The corrosion handbook**, New York: John Wiley & Sons, Inc, p.909-912, 1966.

WEST, J. M., **Electrodeposition and Corrosion Processes**. The Camelot Press LTD, 1965.

