

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

CAROLINA CURCIO LOTT GUIMARÃES

ANÁLISE DA CORROSÃO POTENCIODINÂMICA DO ALUMÍNIO 5052F DE
DIFERENTES RUGOSIDADES EM SOLUÇÃO AQUOSA SALINA

BELO HORIZONTE

2018

CAROLINA CURCIO LOTT GUIMARÃES

ANÁLISE DA CORROSÃO POTENCIODINÂMICA DO ALUMÍNIO 5052F DE
DIFERENTES RUGOSIDADES EM SOLUÇÃO AQUOSA SALINA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Curso de Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Dr. Marcello Rosa Dumont

BELO HORIZONTE

2018

CAROLINA CURCIO LOTT GUIMARÃES

**ANÁLISE DA CORROSÃO POTENCIODINÂMICA DO ALUMÍNIO 5052F DE
DIFERENTES RUGOSIDADES EM SOLUÇÃO AQUOSA SALINA**

Aprovado em: ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

Dr. Marcello Rosa Dumont

Dr^a. Elaine Carballo Siqueira Correa

Dr. Sidney Nicodemus da Silva

RESUMO

A água do mar, assim como outros ambientes com elevados teores de cloretos, são altamente corrosivos até para materiais com elevada resistência a corrosão, como o alumínio. O tipo de corrosão mais frequente no alumínio é a corrosão por pite, e o acabamento superficial pode influenciar na resistência à essa corrosão. Como foram realizados poucos trabalhos analisando a influência do acabamento superficial do alumínio na sua resistência a corrosão, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a influência que a rugosidade na superfície do alumínio tem na corrosão por pite quando imerso em uma solução aquosa de 3,5 % de NaCl. Como o alumínio 5052F é muito utilizado na indústria naval, foi escolhida essa liga para análise. Os cálculos desses potenciais foram realizados por meio de técnicas potenciodinâmicas, e os resultados evidenciam que um melhor acabamento superficial traz uma maior resistência a corrosão.

Palavras-chave: corrosão, alumínio 5052F, pite, técnicas potenciodinâmicas, acabamento superficial.

ABSTRACT

Sea water, as well as other high chloride environments, are highly corrosive even for materials with high corrosion resistance, such as aluminum. The most frequent type of corrosion in aluminum is pitting corrosion, and surface finish may influence resistance to corrosion. Since few studies have been published analyzing the influence of aluminum surface finish on its resistance to corrosion, the present work has the objective of evaluating the influence that roughness on the aluminum surface has on pitting corrosion when immersed in an aqueous solution of 3,5 % NaCl. As 5052F aluminum is heavily used in the naval industry, this alloy was chosen for analysis. The corrosion and pitting potentials were calculated using potentiodynamic techniques, and the results show that a better surface finish brings a higher resistance to corrosion.

Keywords: Corrosion, 5052F aluminum, pitting corrosion, potentiodynamic techniques, surface finish.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Representação esquemática por meio de curvas de polarização da corrosão de um metal Me numa solução aquosa desareada. 18
- Figura 2: Ilustração das possibilidades para um metal Me que apresenta passivação em potenciais mais elevados. Se a densidade de corrente limite da curva catódica for inferior ao i_{cr} (curva i_{c1}), o metal se mantém na região ativa e sofre corrosão com taxa igual à da densidade de corrente limite. No caso contrário, (curva i_{c2}) o metal fica passivado e o seu potencial de corrosão fica na região passiva. 19
- Figura 3: Variação com o tempo do potencial de corrosão de aço inoxidável austenítico AISI 304 em solução 5% HNO_3 . Curva 1: corpo-de-prova lixado e exposto à atmosfera por 1.5 horas; curva 2: idem, por 170 hora; curva 3: corpo-de-prova passivado e exposto a atmosfera por 170 horas. 20
- Figura 4: Arranjo esquemático para levantamento de curvas de polarização. ET=eletrodo de trabalho. ER=eletrodo de referência. CE=contra-eletrodo. 22
- Figura 5: Representação do método de extrapolação das retas de Tafel 24
- Figura 6: Curva de polarização típica obtida através da técnica potenciodinâmica para a determinação do potencial de pite E_p . 25
- Figura 7: Microestrutura óptica da liga laminada a quente. 31
- Figura 8: Curva de densidade de corrente potencial da liga de alumínio AA2024-T351 durante a polarização potenciodinâmica em uma solução de NaCl a 3,5% em peso aerada à temperatura ambiente. 32
- Figura 9 : Resultado da microestrutura do alumínio 5052F 37

Figura 10: Resultado das curvas potenciodinâmicas na lixa #150	39
Figura 11: Resultado das curvas potenciodinâmicas na lixa #240	41
Figura 12: Resultado das curvas potenciodinâmicas na lixa #320	42
Figura 13: Resultado das curvas potenciodinâmica utilizando área menor	43
Figura 14: resultado da curva potenciodinâmica da amostra polida	44
Figura 15: Corrosão da amostra de lixa #320	45
Figura 16: Corrosão da amostra polida	46

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1: Resultado de análise química por FRX	36
Tabela 2: Resultados de OCP	38
Tabela 3 – Resultados de potencial de corrosão, densidade de corrente e potencial de pite	46

Dedico este trabalho primeiramente a Deus;
Aos meus pais Marilia e Mario que sempre me apoiaram;
Ao meu irmão Daniel;
Aos meus professores.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre ao meu lado durante minha caminhada, por me permitir superar os obstáculos que encontrei durante a vida.

Aos meus pais e meu irmão por terem me apoiado durante esse período, que, nos momentos dedicados ao estudo superior, sempre me fizeram entender que o futuro é feito a partir da constante dedicação no presente.

Ao meu orientador Marcello Rosa Dumont, por me ajudar durante minha caminhada acadêmica, por me ensinar, orientar. Ao CEFET-MG, ao todo seu corpo docente, técnicos e funcionário, que proporcionaram um ambiente propício para a expansão do conhecimento.

À professora Elaine pelo auxílio e colaboração na organização e interpretação dos dados.

Aos membros da banca.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivos Gerais	15
2.2	Objetivos Específicos	15
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1	Corrosão	16
3.1.1	Reações eletroquímicas	16
3.1.2	Camada de óxido.....	17
3.1.3	Potencial de corrosão	17
3.1.4	Corrosão de um metal que pode ser passivado.....	18
3.1.5	Corrosão por pite	21
3.1.6	Curvas de polarização experimentais.....	21
3.1.7	Método potenciodinâmico.....	23
3.1.8	Método de extrapolação da reta de Tafel.....	23
3.1.9	Cálculo do potencial de pite	24
3.2	Alumínio	26
3.2.1	História do alumínio.....	26
3.2.2	Alumínio naval.....	27
3.3	Corrosão do Alumínio	28
4	MATERIAIS E MÉTODOS	33
4.1	Materiais.....	33
4.2	Análise Química.....	33
4.3	Preparação das Amostras	33
4.4	Análise Microestrutural.....	34
4.5	Polarização Potenciodinâmica	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
5.1	Análise Química	36
5.2	Análise Microestrutural.....	37
5.3	Polarização Potenciodinâmica	38
5.3.1	Lixa #150	39
5.3.2	Lixa #240	40
5.3.3	Lixa #320	42
5.3.4	Experimentos com área menor.....	43
5.3.4	Comparação com amostra polida.....	44

6	CONCLUSÕES.....	47
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	48
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1. INTRODUÇÃO

O elemento químico alumínio foi descoberto no século dezenove, inicialmente na forma de sal. Após muitos anos diversos cientistas trabalharam para conseguir uma forma viável e eficiente para transformar o minério em alumínio, e hoje em dia a produção de alumínio é baseado nos processos Bayer e Hall-Hérout (Aluminum Leader, 2018).

O alumínio é muito utilizado devido a sua baixa densidade, sua facilidade de reciclagem e sua alta resistência a corrosão, podendo substituir o aço em aplicações estruturais em que a leveza do material traz vantagens, como por exemplo, na indústria aeronáutica, uma aeronave mais leve gasta menos combustível (Aluminum Association, 2018).

A água do mar, assim como outros ambientes com elevados teores de cloretos, são altamente corrosivos até para materiais com elevada resistência a corrosão, como o alumínio (ZHANG, 2018).

O alumínio é um material que ao oxidar forma uma camada passivadora de proteção, impedindo que a corrosão avance. Porém em ambientes marinhos, os cloretos são capazes de quebrar essa camada, ocorrendo uma corrosão localizada, ou a corrosão por pite (LIANG, 2018).

Foram realizados diversos estudos relacionados a resistência a corrosão do alumínio, estudos sobre o seu comportamento em ambiente marinho, a influência de deformação plástica, a eficiência de revestimentos, e a influência da rugosidade (DALMORO, 2015; GUAN, 2017; LIU, 2018; LY, 2018; NAENI, 2011; ZHANG, 2018).

Dependendo do acabamento superficial do material, a sua superfície poderá ter uma rugosidade diferente, portanto é interessante analisar qual rugosidade propicia uma melhor resistência a corrosão. Para isso, será necessário realizar um entendimento sobre como ocorre a corrosão, tanto de forma generalizada quanto na forma de pite, e fazer uma análise de como a corrosão se manifesta no alumínio e em meio aquoso.

Como está sendo analisado a corrosão em ambiente salino, é interessante analisar uma liga que tenha aplicação neste contexto. O alumínio 5052F, também conhecido como alumínio naval, como o próprio nome indica, é muito utilizado na indústria naval (Artisa Metais, 2018; Coppermetal, 2018; GGDMetals, 2018; Império dos Metais, 2018), portanto foi escolhido para a análise desse trabalho.

A corrosão em materiais metálicos manifesta-se de maneira mais frequente em meio aquoso. Durante seu processo ocorrem duas reações de natureza eletroquímica: uma reação anódica no metal e uma catódica. Na superfície do material metálico é formada uma camada de óxido que possui propriedades diferentes do metal não oxidado, que pode levar a facilitação de processos de falhas na peça (WOLYNEC, 2003).

Existem diversas formas de corrosão, nesse trabalho será focado a corrosão por pite, que é caracterizada por um ataque altamente localizado em metais que se encontram passivados, ou seja, revestidos por uma película protetora mais catódica, como por exemplo os aços inoxidáveis (WOLYNEC, 2003).

Para que ocorra a corrosão por pite é necessário que o material se encontre em um meio com elevado potencial eletrostático, conhecido como *potencial de pite*, que é determinado através de técnicas potencioestática (WOLYNEC, 2003).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

Analisar a influência do acabamento superficial na resistência a corrosão eletroquímica do alumínio 5052F.

2.2 Objetivos Específicos

Caracterizar a microestrutura e composição química.

Obter as curvas potenciodinâmica em solução salina 3,5 % para as amostras com diferentes acabamentos superficiais.

Encontrar os potenciais de corrosão e densidade de corrente para cada acabamento superficial utilizado.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

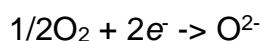
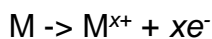
3.1 Corrosão

Os mecanismos por qual ocorre a corrosão variam dependendo do tipo de corrosão que está ocorrendo. Dentre os fenômenos de corrosão de metais, 90% ocorrem em meios aquoso, 8% são oxidações e corrosão a quente, 1,8% ocorre em meios orgânicos e 0,2% em metais líquidos. Como se pode perceber, a corrosão em meio aquoso é a mais comum e ela é caracterizada principalmente por reações eletroquímicas (WOLYNEC, 2003).

3.1.1 Reações eletroquímicas

Em uma reação eletroquímica, existe a passagem de uma corrente elétrica que envolve partículas carregadas: íons, elétrons, ou ambos. Considerando que a reação esteja ocorrendo sob uma superfície metálica, ocorre a passagem de corrente entre o metal e os íons se movimentam através da película de óxido metálico que é formado (WOLYNEC, 2003).

Durante o processo de corrosão ocorrem duas reações principais, uma catódica e outra anódica. A reação anódica é uma reação de oxidação, ou seja elétrons são produzidos, e a reação catódica é uma reação de redução, ou seja os elétrons são reagentes (GENTIL, 2013).



As reações ocorrem simultaneamente, com a reação catódica utilizando os elétrons produzidos na reação anódica, que se deslocaram pelo metal gerando uma corrente elétrica (GENTIL, 2013).

Existem outras reações que ocorrem durante o processo corrosivo como por exemplo a formação da camada de óxido

3.1.2 Camada de óxido

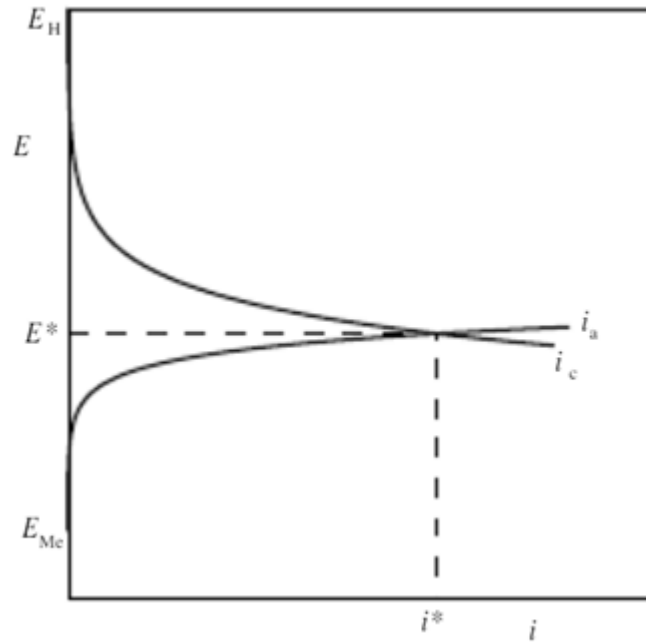
Durante o processo corrosivo é formado um óxido, dependendo do tipo do metal e de outras variáveis durante o processo como por exemplo a temperatura, o óxido criado terá propriedades diferentes. Existem alguns metais que produzem óxidos voláteis, outros produzem camadas de óxidos que não se aderem ao metal e existem outros que produzem uma camada aderente ao metal, chamada de camada passiva, essa camada envolve o metal e dificulta a continuação das reações corrosivas (CALLISTER, 2002).

3.1.3 Potencial de corrosão

Para que ocorra a corrosão de um metal é necessário que o potencial de equilíbrio da reação anódica seja menor que o potencial de equilíbrio reação catódica. Porém caso os elétrons produzidos na reação anódica não sejam removidos a reação irá tender ao equilíbrio e o processo de corrosão não irá mais avançar, por outro lado para que a reação catódica ocorra é necessário que ela consuma elétrons. Portanto para que ambas reações prossigam é necessário que a reação anódica produza elétrons na mesma velocidade que a reação catódica os consome, ou seja a densidade de corrente anódica i_a deve ser igual a densidade de corrente catódica i_c , para que isso aconteça é necessário um potencial intermediário entre os potenciais de equilíbrio (WOLYNEC, 2003).

Na figura 1 está representada a corrosão de um metal Me em uma solução aquosa, através de curvas de polarização.

Figura 1 – Representação esquemática por meio de curvas de polarização da corrosão de um metal Me numa solução aquosa desareada.



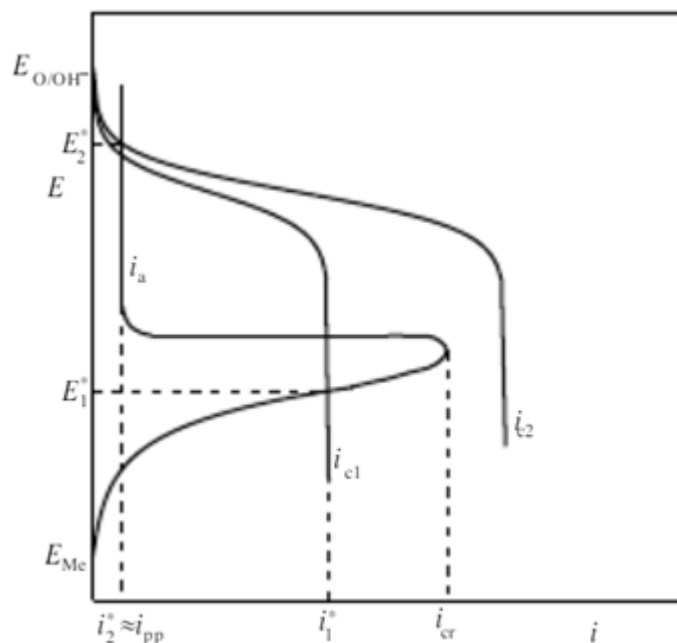
Fonte: WOLYNEC, 2003.

Na figura é mostrado o ponto de potencial intermediário E^* onde os valores de corrente i_a e i_c são iguais, chamamos E^* de potencial de corrosão e o valor de corrente i^* de densidade de corrente de corrosão ou taxa de corrosão ou velocidade de corrosão (WOLYNEC, 2003).

3.1.4 Corrosão de um metal que pode ser passivado

Existem metais que podem ser passivados em potenciais mais elevados. A figura 2 mostra a curva de polarização de um metal que sofre passivação em potenciais elevados (WOLYNEC, 2003).

Figura 2 – Ilustração das possibilidades para um metal Me que apresenta passivação em potenciais mais elevados. Se a densidade de corrente limite da curva catódica for inferior ao i_{cr} (curva i_{c1}), o metal se mantém na região ativa e sofre corrosão com taxa igual à da densidade de corrente limite. No caso contrário, (curva i_{c2}) o metal fica passivado e o seu potencial de corrosão fica na região passiva.



Fonte: WOLYNEC, 2003.

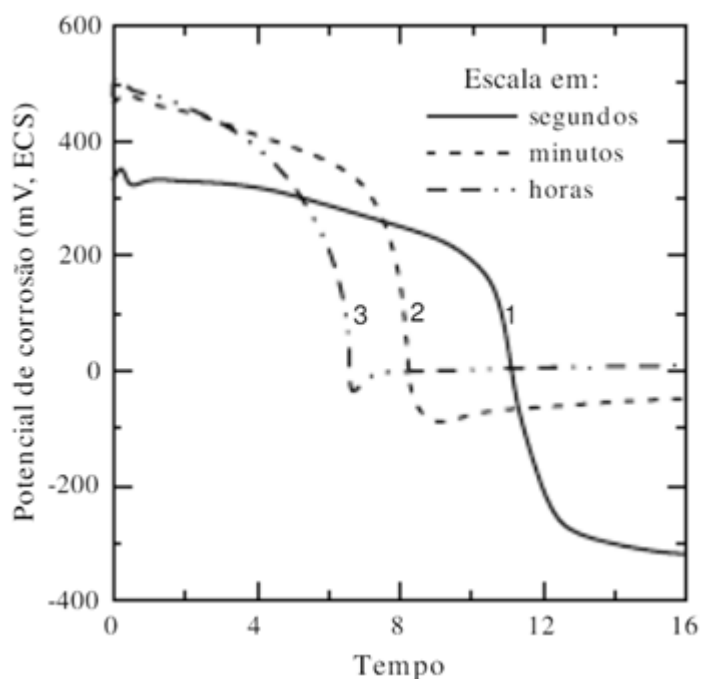
A curva anódica possui um valor de densidade de corrente crítica, i_{cr} , e um valor de densidade de corrente passiva, i_{pp} (WOLYNEC, 2003).

As curvas catódicas são da reação da redução do oxigênio com valores de densidade de corrente limite diferentes: i_{c1} , que é menor que i_{cr} e ocorre na região ativa, e i_{c2} , que é maior que i_{cr} e ocorre na região passiva (WOLYNEC, 2003).

Na região ativa é determinado o potencial de corrosão E_1^* e a taxa de corrosão i_1^* , nesse caso o metal sofre corrosão ativa. Na região passiva é determinado o potencial de corrosão E_2^* e a taxa de corrosão i_2^* . Como o valor dessa densidade de corrosão é muito pequena o material praticamente não sofre corrosão, ou seja ele fica passivado (WOLYNEC, 2003).

O metal passivado sofrerá corrosão, no entanto se ocorrer uma dissolução da película de óxido. Isso poderá acontecer se o metal for imerso em uma solução corrosiva. Nesse caso é possível observar uma variação no potencial de corrosão com o passar do tempo como é demonstrado na figura 3 (WOLYNEC, 2003):

Figura 3 – Variação com o tempo do potencial de corrosão de aço inoxidável austenítico AISI 304 em solução 5% HNO₃. Curva 1: corpo-de-prova lixado e exposto à atmosfera por 1.5 horas; curva 2: *idem*, por 170 hora; curva 3: corpo-de-prova passivado e exposto a atmosfera por 170 horas



Fonte: Wolyneec, 2003.

Na figura é apresentado a variação do aço inoxidável AISI 304 em uma solução de 5% HNO₃ em três condições diferentes de superfície (WOLYNEC, 2003).

Pode-se observar como o potencial de corrosão se mantém em um valor elevado, seguido de uma brusca queda que é atribuída a dissolução da película de óxido (WOLYNEC, 2003).

3.1.5 Corrosão por pite

É um ataque altamente localizado que ocorre em metais que se encontram passivados. Ocorre a dissolução da camada óxida formando uma pilha ativa-passiva. Dependendo da profundidade pode levar a falha da peça (COUTINHO, 1992; LUCAN, 2011).

A corrosão por pite só ocorre se o potencial de eletrodo for igual ou superior ao potencial de pite E_p . Esse potencial é considerado um parâmetro básico para a avaliação da resistência de um metal à corrosão a pite, e a sua dependência com as diversas variáveis do metal e do meio tem sido muito utilizada para a investigação do mecanismo de pite (WOLYNEC, 2003).

O potencial de pite pode se determinado de diversas técnicas de polarização eletroquímicas distintas, sendo as mais usadas as técnicas de potenciocinética, também conhecida como potenciodinâmica, e de potenciostática (WOLYNEC, 2003).

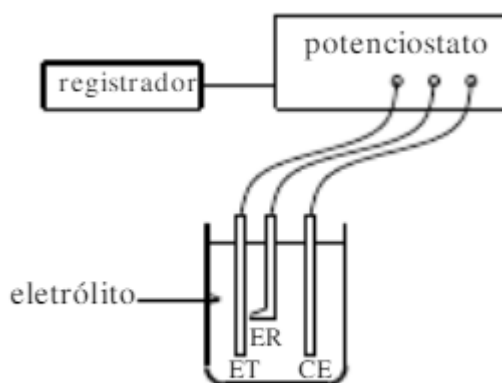
3.1.6 Curvas de polarização experimentais

Para a criação de curvas de polarização é necessário que o eletrodo a ser analisado passe por potenciais diferentes do seu potencial de corrosão. Para isso é necessário o uso de uma força externa de potencial, como uma bateria. Para que seja possível, não só a aplicação de um potencial desejado de forma controlada, mas também a medição da corrente de polarização é utilizada um potenciostato. O potenciostato é capaz de criar curvas de polarização através dos dados obtidos do potencial do eletrodo e sua corrente medida correspondente (GENTIL, 2003; WOLYNEC, 2003).

O método potenciostático é uma das formas de se obter uma curva de polarização experimental. Nesse método são aplicados valores discretos, crescente ou decrescentes, ao potencial E e para cada valor de E se calcula o valor de Δi (WOLYNEC, 2003).

Na figura 4 é demonstrado o arranjo esquemático para o levantamento de curvas de polarização.

Figura 4 – Arranjo esquemático para levantamento de curvas de polarização. ET=eletrodo de trabalho. ER=eletrodo de referência. CE=contra-eletrodo



Fonte: WOLYNEC, 2003.

Na figura 4 é mostrado um arranjo esquemático para o levantamento de curvas de polarização. Pode-se observar que o potenciostato está conectado a um registrador, ou seja um equipamento que irá registrar os dados obtidos pelo potenciostato, esse equipamento pode ser um computador com um software do potenciostato instalado. Também pode ser observado que o potenciostato está conectado á três eletrodos: um contra-eletrodo, um eletrodo de referência, e um eletrodo de trabalho.

Durante o levantamento da curva de polarização ocorre um fluxo de corrente entre o eletrodo de trabalho e o contra-eletrodo, e se estabelece um gradiente de potencial entre ambos (WOLYNEC, 2003).

3.1.7 Método potenciodinâmico

O método potenciodinâmico é uma das possíveis formas de fazer o levantamento de curvas de polarização. Nesse método o potencial do eletrodo varia de forma constante enquanto é registrado a variação da corrente, que também é constante (WOLYNEC, 2003).

Uma das principais limitações desse método é devido ao fato dele ser dependente do sentido em que o levantamento é realizado e da velocidade de varrimento (WOLYNEC, 2003).

Dependendo se o levantamento da curva é catódico ou anódica os valores de corrente são diferentes, o que pode levar a conclusões errôneas, como por exemplo qual o valor da taxa de corrosão. A utilização de velocidades de varrimento maiores também podem levar a valores de corrente maiores (WOLYNEC, 2003).

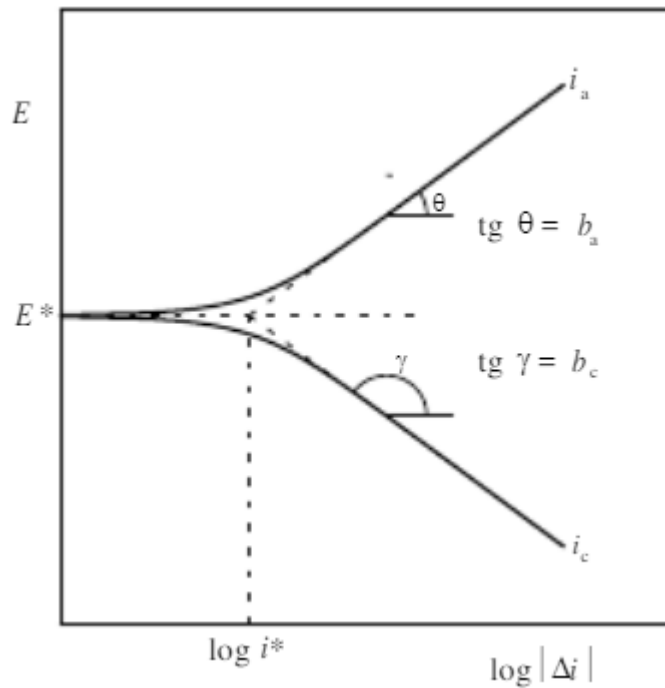
3.1.8 Método de extrapolação da reta de Tafel

Esse método é utilizado para obter os valores de potencial de corrosão E^* e a taxa de corrosão i^* com os dados obtidos durante o levantamento da curva de polarização (WOLYNEC, 2003).

Para a utilização desse método é necessário que seja plotado um gráfico de E vs $\log |\Delta i|$, e que as retas nesse gráfico estejam bem definidas (WOLYNEC, 2003).

Na figura 5 é representado o método de Tafel.

Figura 5 – Representação do método de extrapolação das retas de Tafel



Fonte: WOLYNEC, 2003.

O método consiste na extrapolação das retas i_a e i_c , sendo o ponto em que elas se encontram o valor de E^* e i^* (WOLYNEC, 2003).

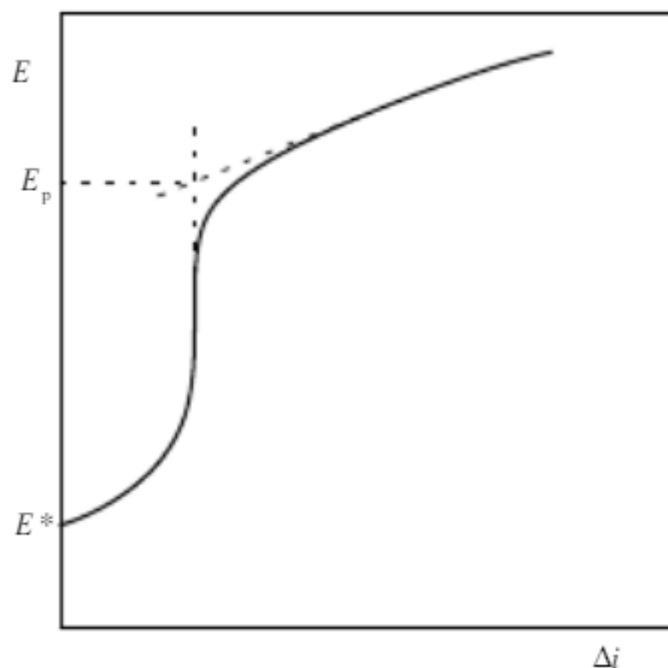
3.1.9 Cálculo do potencial de pite

Quando se usa o método potenciodinâmico para realizar o levantamento da curva de polarização, o teste é realizado na direção anódica, e é utilizado uma solução aquosa de NaCl normalmente entre 3,5% a 4% de concentração. Para o caso de apenas o estudo do potencial de pite a curva começa a partir do potencial E^* (WOLYNEC, 2003).

Como a corrosão por pite ocorre em metais passivos, inicialmente a sua densidade de corrente costuma ser na faixa dos $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, o que é um valor pequeno, e ocorre pouca variação com o aumento do potencial. Porém quando se atinge o potencial de pite há uma mudança brusca na densidade da corrente (WOLYNEC, 2003).

Na figura 6 é representado a curva de polarização típica para a determinação do potencial de pite.

Figura 6 – Curva de polarização típica obtida através da técnica potenciodinâmica para a determinação do potencial de pite E_p



Fonte: WOLYNEC, 2003.

O valor do potencial de pite é calculado determinando o ponto onde ocorre a intersecção das retas definidas antes e depois do aumento brusco da densidade de corrente (WOLYNEC, 2003).

Essa técnica é uma das mais utilizadas para a determinação do potencial de pite devido a sua simplicidade. Porém há alguns casos em que não é possível observar o aumento da densidade de corrosão, mesmo tendo ocorrido a corrosão por pite do material. Para esses casos pode ser impossível calcular o potencial de pite (WOLYNEC, 2003).

Também é importante notar que devido a inercia do processo, o potencial de pite calculado por esse método é maior que o seu valor verdadeiro (WOLYNEC, 2003).

3.2 Alumínio

O Alumínio é conhecido por ser um metal leve, durável e altamente reciclável, Utilizado desde aplicações do dia-a-dia como em aplicações de embalagens e latas de refrigerante, há aplicações mais complexas como nas indústrias automotivas, transporte, aeroespacial e de construção. A sua leveza possibilita a construção de automóveis e aeronaves com melhor eficiência de combustível e a sua reciclagem traz um impacto menor ao meio ambiente (Aluminum Association, 2018).

3.2.1 História do alumínio

O alumínio teve seu nome derivado do Latin '*alumen*'. Seu nome foi dado pelo químico inglês Humphry Davy que em 1808 descobriu que era possível produzir alumínio através de redução eletrolítica da alumina, porém não foi possível provar sua teoria em prática (Aluminum Leader, 2018).

Em 1825, Hans Christian Oersted conseguiu provar essa teoria, porém ao invés de alumínio puro o que foi produzido foi uma liga de alumínio com elementos usados no experimento (Aluminum Leader, 2018).

Um químico alemão, Friedrich Woehler, continuou com os experimentos de Hans, em 22 de outubro de 1827. Após 18 anos de experimentações ele conseguiu criar pequenos glóbulos de alumínio fundido em 1845 (Aluminum Leader, 2018).

A transição do método de criação de alumínio criado pelos cientistas para aplicação em indústrias foi dado ao químico francês e tecnólogo Henri-Etienne Sainte-Claire Deville, que melhorou o método criado por Woehler e produziu o primeiro alumínio industrial com parceria de Charles e Alexandre Tissier em Rouen na França em 1856 (Aluminum Leader, 2018).

O alumínio produzido se assemelhava com a prata, não só pela cor, mas também por ser leve e caro, por isso o alumínio era considerado um material de

elite para enfeites e itens de luxo. Os primeiros itens de alumínio produzidos foram medalhas criadas durante o reino de Napoleão III. Napoleão suportou o desenvolvimento da produção de alumínio e Friedrich Woehler projetou um chocalho feito de alumínio e ouro para o príncipe herdeiro Louis Napoleão (Aluminum Leader, 2018).

Uma mudança ocorreu em 1886 com a descoberta de um método de produção eletrolítica mais custo-eficiente para o alumínio. Desenvolvido independente ao mesmo tempo por um engenheiro francês, Paul Héroult, e um aluno americano, Charles Hall. O processo parte da redução de óxido de alumínio fundido em criolita. Esse método demonstrou ter ótimos resultados, porém são necessárias grandes quantidades de energia elétrica (Aluminum Leader, 2018).

Em 1889 foi criada uma forma mais barata e viável de se produzir a Alumina (óxido de alumínio) pelo químico austríaco Karl Joseph Bayer quando ele estava trabalhando em São Petersburgo na Rússia na empresa Tentelevsky. A partir de então a Alumina se tornou a matéria prima utilizada para a produção de alumínio. O método consiste em adicionar bauxita à uma solução alcalina e aquece-la em um recipiente fechado, durante esse processo todo o alumínio na bauxita foi transferido para a solução alcalina, de forma que mesmo se a bauxita não foi completamente dissolvida não há alumínio nesses restos (Aluminum Leader, 2018).

Hoje em dia a produção de alumínio é baseado nos processos Bayer e Hall-Héroult (Aluminum Leader, 2018).

3.2.2 Alumínio naval

O alumínio 5052F, também conhecido como alumínio naval, é uma liga de alumínio-magnésio que possui uma alta resistência a corrosão, boa conformabilidade e soldabilidade, porém possui uma baixa resistência mecânica. Esse material é muito utilizado para a aplicação naval, mas também pode ser utilizado em placas de sinalização, carrocerias de ônibus e furgões, tanques de

gasolina, persianas, uso geral em estamparias, ele é muito utilizado para a fabricação de moldes e matrizes de PP, PET, ABS, PVC (Artisa Metais, 2018; Coppermetal, 2018; GGDMetals, 2018; Império dos Metais, 2018).

3.3 Corrosão do Alumínio

O alumínio possui uma elevada resistência a corrosão devido a formação da alumina, o filme óxido protetor. Esse filme é formado rapidamente com a exposição ao ar. Elementos de liga como Si e Mg melhoram a resistência mecânica, porém como eles introduzem heterogeneidades na peça podem ocorrer defeitos estruturais. Esses defeitos podem prejudicar a integridade da camada óxida, se tornando locais preferenciais para a ocorrência de corrosão por pite (LIANG, 2018).

Para ligas de alumínio em ambientes marinhos, a forma de corrosão mais encontrada é a corrosão por pite. Isso devido aos íons de cloro penetrando na camada de óxido e acumulando dentro dos defeitos encontrados na interface entre o substrato de alumínio e a camada óxida, isso resulta na dissolução do substrato. Usualmente os pites duram apenas um curto período de tempo, isso pois ocorre a repassivação da camada óxida devido a densidade de corrente não ser suficiente para a dissolução da liga base no fundo do pite (LIANG, 2018).

Não existem muitos estudos sobre a corrosão de ligas de alumínio em longos períodos de tempo, porém um estudo realizado por Liang et. al. analisando a corrosão de alumínio 6060 localizado nas *splash zones*, marés e imerso na água do mar por dois anos, demonstrou que a corrosão mais intensa e com os pites mais profundos ocorreram na área de imersão, as morfologias da corrosão foram complexas, sendo observados diversos tipos de pites.

Kim et. al. realizou experimentos sobre as características mecânicas e eletroquímicas do alumínio 5052O em água salina, no experimento a densidade da corrente começa a subir a partir de -0,5 V e não mostrou sinais de passivação em geral e não foi observado a formação de filme de óxido na superfície. Foi realizado uma polarização catódica e foi constatado que a faixa de potencial em

que há proteção a corrosão é de -1,37 V a -0,68 V, as densidades de corrente nessa faixa também foram muito baixas, na faixa entre nA/cm² a μA/cm². As curvas para a análise de Tafel ao variar a partir do valor de OCP ±0,25V resultaram em um potencial de corrosão de -682,7 mV e 1,2 μA/cm².

Uma possibilidade para aumentar a resistência a corrosão do alumínio quando ele se encontra em um ambiente mais corrosivo, como por exemplo ambientes muito ácidos, alcalinos, ou com uma alta concentração de íons como Cl⁻, Cu²⁺ e Fe³⁺ é por meio da aplicação de revestimentos e inibidores na superfície do material. Muitos compostos orgânicos e inorgânicos foram testados para servirem como inibidores de corrosão para o alumínio e suas ligas. Existem algumas limitações na utilização desses compostos devido a sua toxicidade ou sua não degradação, portanto inibidores e recobrimento “verdes” estão sendo estudados como alternativas mais ecologicamente viáveis (ZHANG, 2018).

Um exemplo de inibidor verde seria polissacarídeos poliméricos. Estudos mostram que esse polímero é um bom inibidor de corrosão e a sua eficiência aumenta com a sua concentração. Testes potenciodinâmicos realizados com alumínio 5052 em 3,5 % de solução de NaCl mostram que o polissacarídeo é capaz de inibir a corrosão tendo um efeito predominantemente anódica, os testes de espectrometria mostram que a propagação da corrosão por pite que se iniciou na liga de alumínio é inibida pela camada polimérica adsorvida. A camada também adquire uma maior resistência a corrosão geral uniforme da liga (ZHANG, 2018).

Dalmoro et. al. realizou um experimento de corrosão do alumínio 2024 coberto de sol-gel, a curva de polarização cobriu a faixa de -0,9 V até 0,5 V, e o OCP foi medido após uma hora retornando valores em torno de -0,53 V a -0,63 V, o experimento concluiu que o sol-gel melhorou a resistência a corrosão do alumínio.

Guan et. al. estudou a influência da adição de bactéria que reduz sulfato no comportamento corrosivo do alumínio 5052. Foi observado após 10 dias um valor constante de OCP de -0,8 V. Ocorreram algumas variações no potencial, que foram atribuídas a atividade metabólica da cultura de bactérias. Os experimentos

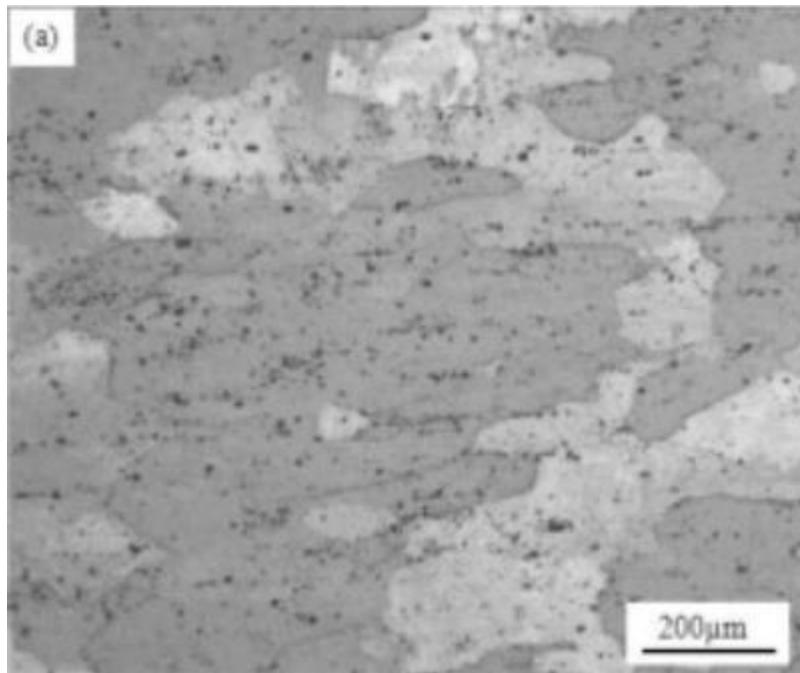
demonstraram que a densidade da corrente aumenta e o potencial de corrosão diminui com a adição das bactérias.

A deformação plástica pode ser utilizada como uma técnica para o refinamento de grãos e o desenvolvimento de uma boa combinação de resistência, ductilidade e estabilidade térmica em ligas metálicas. Existem alguns estudos em relação à resistência à corrosão de tais metais após terem sofrido esses processos. Essas técnicas de deformação plástica e o envelhecimento melhoram as propriedades mecânicas do material, porém induzem a segregação de precipitados e aglomerados nas bandas de cisalhamento. Devido a isso, essas bandas são regiões preferidas para a iniciação e propagação de corrosão intergranular na peça. Ligas de alumínio são susceptíveis a corrosão em ambientes ricos em cloretos, a formação de bandas de cisalhamento reduz ainda mais a resistência a corrosão (Ly, 2018).

Naeni et. al. estudou a corrosão por pite do alumínio 5052F que foi deformado plasticamente, o alumínio não deformado apresentou um potencial de corrosão de -0,7V, a partir de -0,575 ocorre a destruição do filme de óxido e começa a corrosão por pite. A deformação plástica do alumínio fez com que o potencial de corrosão abaixasse, o potencial de pite também abaixou com a maior deformação.

A figura 7 mostra a microestrutura do alumínio 5052 que foi laminado a quente (WANG, 2018):

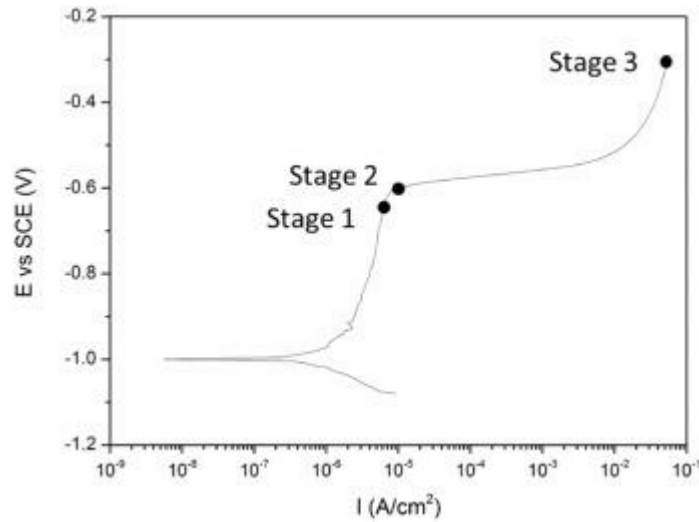
Figura 7 – Microestrutura óptica da liga laminada a quente



Fonte: WANG, 2018.

A figura 8 mostra um exemplo de curva potenciodinâmica de uma liga de alumínio AA2024-T351 em uma solução de NaCl a 3,5% aerada à temperatura ambiente. É possível observar que a partir de $-0,6$ V há um aumento significativo na densidade de corrente. O ponto marcado na figura como Stage 1, está abaixo do potencial de pite, em que começa a quebra da camada de óxido, nesse momento não há sinais de corrosão localizada no material. O ponto Stage 2 se encontra logo acima desse potencial, e nesse ponto que começa a corrosão por pite, e no ponto denominado Stage 3, ocorre a repassivação da camada óxida e com isso há uma diminuição na corrosão (ZHOU, 2017).

Figura 8 – Curva de densidade de corrente potencial da liga de alumínio AA2024-T351 durante a polarização potenciodinâmica em uma solução de NaCl a 3,5% em peso aerada à temperatura ambiente



Fonte: ZHOU, 2017.

São poucos os estudos sobre o efeito da rugosidade na corrosão por pite, porém é bem conhecido que a abrasão superficial pode influenciar a corrosão por pite, devido a alterar a rugosidade da superfície. A abrasão cria ranhuras e com isso aumenta a área real da superfície. Sabe-se que a corrosão por pite é afetada pelo tamanho, densidade populacional e a fração de área das partículas intermetálicas. A mudança na rugosidade causada pela abrasão demonstra pouca diferença na corrosão por pite da liga, com a superfície mais lisa tendo a menor susceptibilidade a corrosão e melhor resistência à corrosão (LIU, 2018).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

As amostras de alumínio 5052F foram adquiridas do fornecedor Benimetals Aço Inox e Metal LTDA em formas tiras laminadas a frio com dimensões de 50 mm por 200 mm e espessura de 3 mm. O NaCl PA 99,9 % utilizado foi adquirido da Neon. A Água destilada foi obtida internamente em Destilador de Água Tipo Pilsen da marca Lucadema. A solução aquosa salina foi obtida na concentração de 3,5 % em massa de NaCl em água destilada. A resina metalográfica utilizada para o embutimento a frio foi a resina de acrílico auto-polimerizante clássico da marca Jet. A pasta de diamante de 3 μm e 9 μm foi adquirida da Arotec. O ácido fluorídrico PA 50 % usado no ataque químico foi adquirido da Fmaia. O álcool etílico 96 % para a limpeza e secagem das amostras foi adquirido da Frasquim.

4.2 Análise Química

Análise química qualitativa do alumínio 5052F foi realizada no material tal qual recebido, utilizando a espectrometria de fluorescência de raios X (FRX) no equipamento EDX-720 e condições de operação com ar atmosférico e sem spin.

4.3 Preparação das Amostras

As amostras de alumínio foram cortadas em quadrados de aproximadamente 1,5 cm por 1,5 cm e embutidas a frio em resina acrílica metalográfica em molde de silicone de 30 mm de diâmetro. Na face posterior dos corpos de prova foi fixado um fio de cobre flexível de 4 mm de diâmetro permitindo a condução elétrica nos ensaios potenciodinâmicos.

As amostras foram submetidas ao procedimento padrão de lixamento metalográfico, utilizando lixadeira PLo2 ED da Telago e polítrix Mobil Polyrex EM da Struers, obtendo amostras com acabamento superficial final: polida com pasta de diamante 3 μm , lixada com meshes de 150, de 240 e de 320. Em seguida as amostras foram lavadas com álcool etílico 96 % e secas com um jato de ar quente

4.4 Análise Microestrutural

Foram realizados ensaios de metalografia das amostras, através do lixamento com lixas #150, #240, #320, #400, #600 e polimento com pasta de diamante 9 μm e 3 μm seguido de ataque químico com ácido fluorídrico 0,5 % para revelar a microestrutura, por dois minutos. A estrutura foi observada em microscópio ótico da Kontrol em diferentes ampliações. E as imagens foram obtidas pela câmera digital MDCE-5A acoplada ao microscópio ótico.

4.5 Polarização Potenciodinâmica

Os corpos de prova, com cada acabamento superficial final obtido foram imersos em solução salina 3,5 % em uma célula eletrolítica composta de: eletrodo de referências de Ag/AgCl (saturado com solução de 3 mol/l de KCl), eletrodo auxiliar de platina (Pt) e eletrodo de trabalho (amostra).

Os ensaios eletroquímicos foram realizados em quintuplicata, à temperatura de $24\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Os cantos das amostras foram então revestidos com uma camada de esmalte transparente para evitar fenômenos de corrosão por frestas deixando exposta somente uma área central quadrada de 1 cm de aresta.

Os corpos de prova foram submetidos aos ensaios eletroquímicos de Potencial de Circuito Aberto (OCP) e Polarização Potenciodinâmica, ambos em temperatura ambiente e aeração natural da solução. Os ensaios foram

conduzidos no equipamento potenciostato/galvanostato Vertex IVIUM acoplado a um notebook com o software IVIUM para controle do ensaio e aquisição de dados.

Para as medidas de OCP as amostras permaneceram na solução até o potencial se estabilizar. Para a realização dos ensaios eletroquímicos de polarização, a taxa de varredura utilizada foi de 1 mV/s partindo de -1 V do potencial de circuito aberto até + 3 V.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise Química

Os resultados da análise química elementar qualitativa obtida por FRX estão demonstradas na Tabela 1:

Tabela 1 – Resultado de análise química por FRX

Elemento Químico	Composição (%)
Al	99,5
Fe	0,4
W	< 0,1
Zn	< 0,1
Ga	< 0,1
Si	< 0,1
Cu	< 0,1

Fonte: Próprio Autor

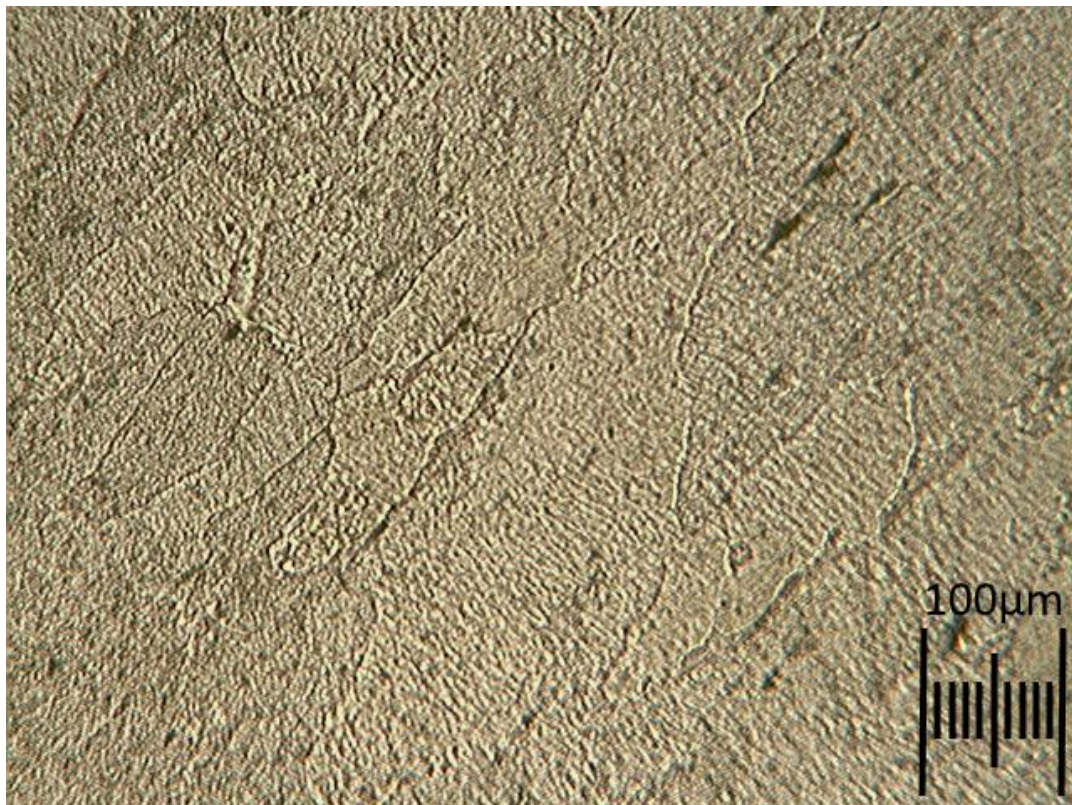
Os resultados mostram que a amostra observada seria de alumínio puro 99,5 %, a constituição química de um alumínio 5052F deveria ser de uma liga de alumínio-magnésio com o magnésio na faixa entre 2 a 3 % (Artisa Metais, 2018; Coppermetal, 2018; Império dos Metais, 2018), porém é importante ressaltar as limitações da análise de FRX, primeiramente essa análise é uma análise qualitativa, com os resultados de composição em porcentagem sendo uma medida relativa e não absoluta. Outra limitação dessa técnica é que devido à baixa penetração dos raios X só é possível obter informação da composição das camadas mais superficiais do material, isso significa que se o material possuía uma camada de óxido mais espessa a análise pode ter sido realizada apenas

dessa camada de óxido e não do metal base. Existe também uma limitação de detecção de certos elementos, é possível que o equipamento não tenha lido, ou a leitura foi pequena e portanto não foi possível detectar o elemento. Portanto, apesar do resultado da composição química estar diferente do esperado segundo os catálogos, é possível que o material seja o 5052F e o elemento químico Mg não foi detectado pelo equipamento mesmo estando presente (SANTOS, 2018) (FERRETTI, 2018).

5.2 Análise Microestrutural

A imagem representativa da microestrutura obtida para o material após ataque químico com o ácido fluorídrico 0,5% por dois minutos é demonstrada na Figura 9

Figura 9 – Resultado da microestrutura do alumínio 5052F



Fonte: Próprio Autor

Na imagem obtida pode se observar os contornos de grão da amostra. É possível perceber um alongamento dos grãos, isso é devido ao material ter sido previamente laminado a frio. Os pequenos pontos escuros são devido ao ataque químico dos componentes intermetálicos, possivelmente o MgZn₂. O resultado obtido foi similar ao esperado de acordo com Wang, 2018 e Coutinho, 1980.

5.3 Polarização Potenciodinâmica

Os resultados obtidos de Potencial de Circuito Aberto estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados de OCP

Amostra	Lixa #150	Lixa #240	Lixa #320
A1	-0,788	-0,558	-0,795
A2	-0,694	-0,856	-1,011
A3	-0,649	-0,739	-0,935
A4	-0,718	-1,001	-0,81
A5	-0,713	-0,895	-0,65
A6	-0,739	-0,965	-0,656
A7		-0,901	
Media	-0,72	-0,8	-0,8
Desvio	0,04	0,1	0,1

Fonte: Próprio Autor

A média do potencial de OCP para a amostra com acabamento superficial de 150 é de $-0,72 \text{ V} \pm 0,04 \text{ V}$, para as amostras lixadas na lixa #240 e #320 foi de $-0,8 \text{ V} \pm 0,1 \text{ V}$. Pode se observar um leve deslocamento do resultado de

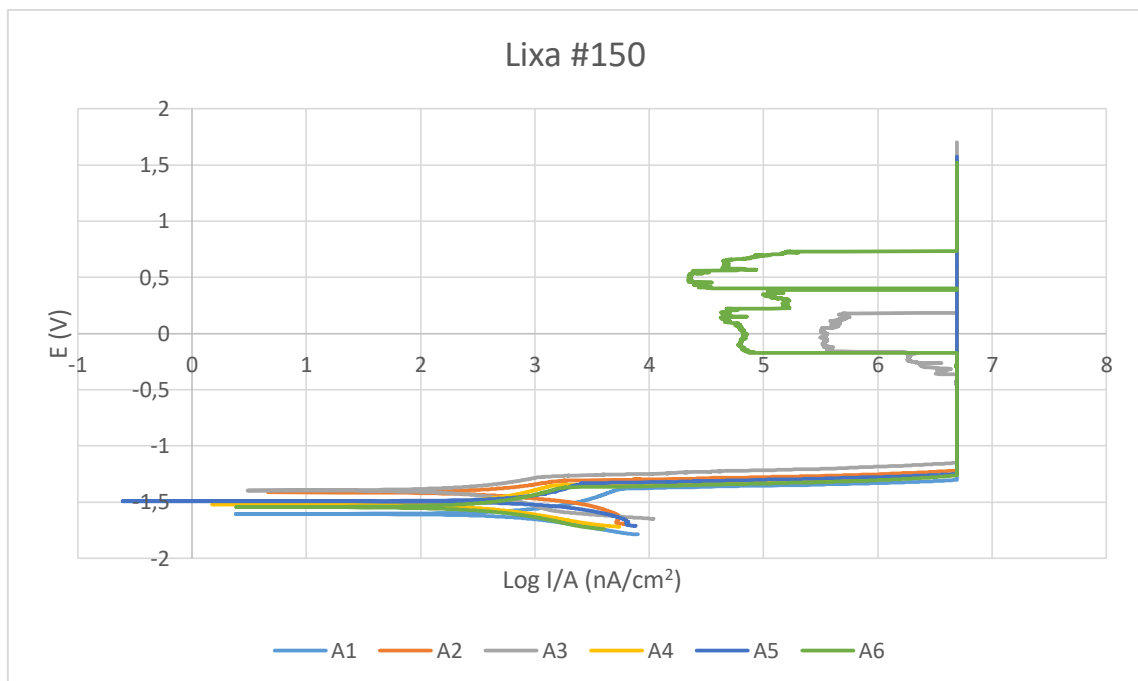
OCP para valores menores a medida que a amostra passa por um acabamento superficial com uma lixa de partículas menores. Isso significaria que a corrosão ocorre em um potencial menor, mas não necessariamente significa que ocorre uma corrosão maior, pois como forma-se a camada óxida protetora, a corrosão pode se estabilizar.

Foram realizados os ensaios potenciodinâmicos, e os dados obtidos foram plotados em gráficos. Foram calculados o potencial de corrosão, densidade de corrente e potencial de pite de cada amostra e foi calculado a média e o desvio padrão para cada lixa.

5.3.1 Lixa #150

Os resultados obtidos das curvas potenciodinâmicas das amostras lixadas com a lixa de #150 foram plotados no gráfico demonstrado na figura 10.

Figura 10 – Resultado das curvas potenciodinâmicas na lixa #150



Fonte: Próprio Autor

Utilizando o método de Tafel, foi calculado o potencial de corrosão do alumínio para a lixa de #150 como de $-1,55 \text{ V} \pm 0,05 \text{ V}$ e a densidade de corrente foi de $2,6 \log (\text{nA/cm}^2) \pm 0,2 \log (\text{nA/cm}^2)$, o potencial de pite foi de $-1,33 \text{ V} \pm 0,05 \text{ V}$. O valor obtido de potencial de corrosão foi diferente do OCP.

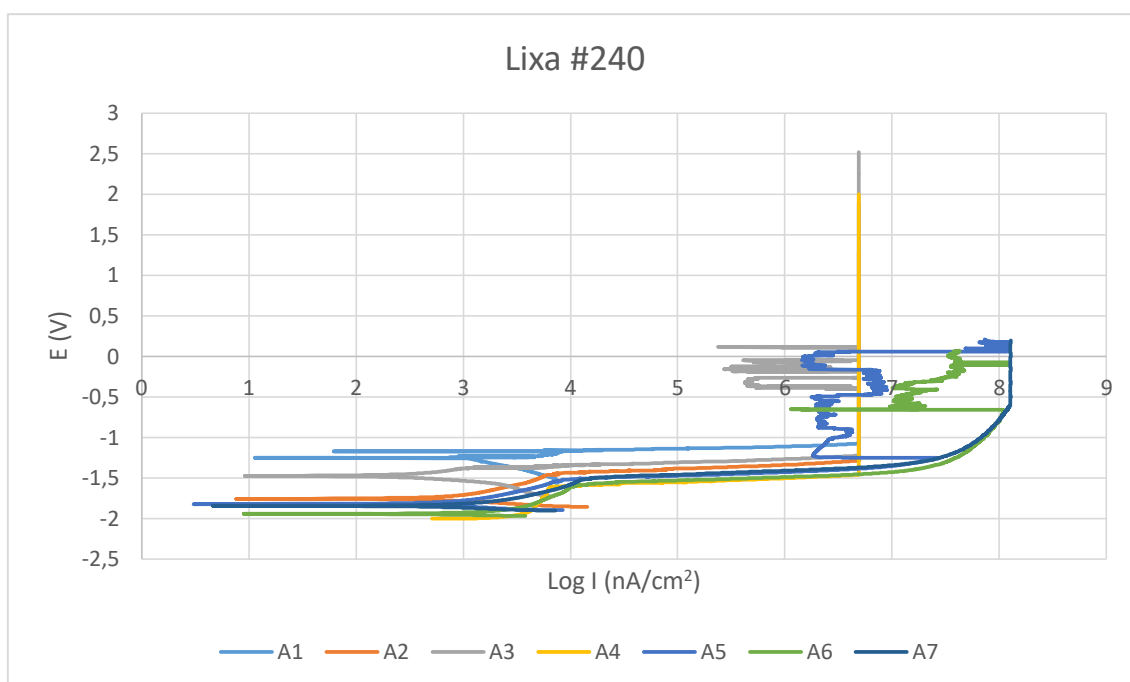
Pode ser observado na figura 10 um momento em todas as amostras em que o valor de corrente se mantém mesmo com o aumento da potência, isso ocorre devido a uma limitação no equipamento, que não consegue ler valores de corrente mais altos. Devido a essa limitação, não foi possível ver o comportamento do material após esse ponto, e portanto não foi possível observar momentos de repassivação da camada óxida.

Também pode ser observado em algumas amostras momentos em que a corrente diminui, isso pode ser devido a formação de bolhas que faz com que a área real da amostra seja menor.

5.3.2 Lixa #240

Os resultados obtidos das curvas potenciodinâmicas das amostras lixadas com a lixa de #240 foram plotados no gráfico demonstrado na figura 11.

Figura 11 – Resultado das curvas potenciodinâmicas na lixa #240



Fonte: Próprio Autor

Utilizando o método de Tafel, foi calculado o potencial de corrosão do alumínio para a lixa de #240 como de $-1,75 \text{ V} \pm 0,13 \text{ V}$ e a densidade de corrente foi de $2,84 \log (\text{nA/cm}^2) \pm 0,1 \log (\text{nA/cm}^2)$ o potencial de pite foi de $-1,4 \pm 0,1 \text{ V}$. O valor obtido de potencial de corrosão foi diferente do OCP. Os valores do potencial de corrosão e do potencial de pite foram menores e o valor da densidade de corrente foi maior que os resultados da lixa de #150, o que significa que teve uma corrosão maior que na lixa anterior.

Na figura 11 pode ser observado que o ponto em que ocorre a parada da leitura da corrente muda entre as amostras, isso é devido a alterações nos parâmetros do equipamento para amostras. Para as amostras que foi possível uma leitura de amplitude maior é possível observar o começo de uma curva perto do ponto em que não é possível fazer a leitura da corrente, essa mudança pode ser devido à repassivação da camada de óxido.

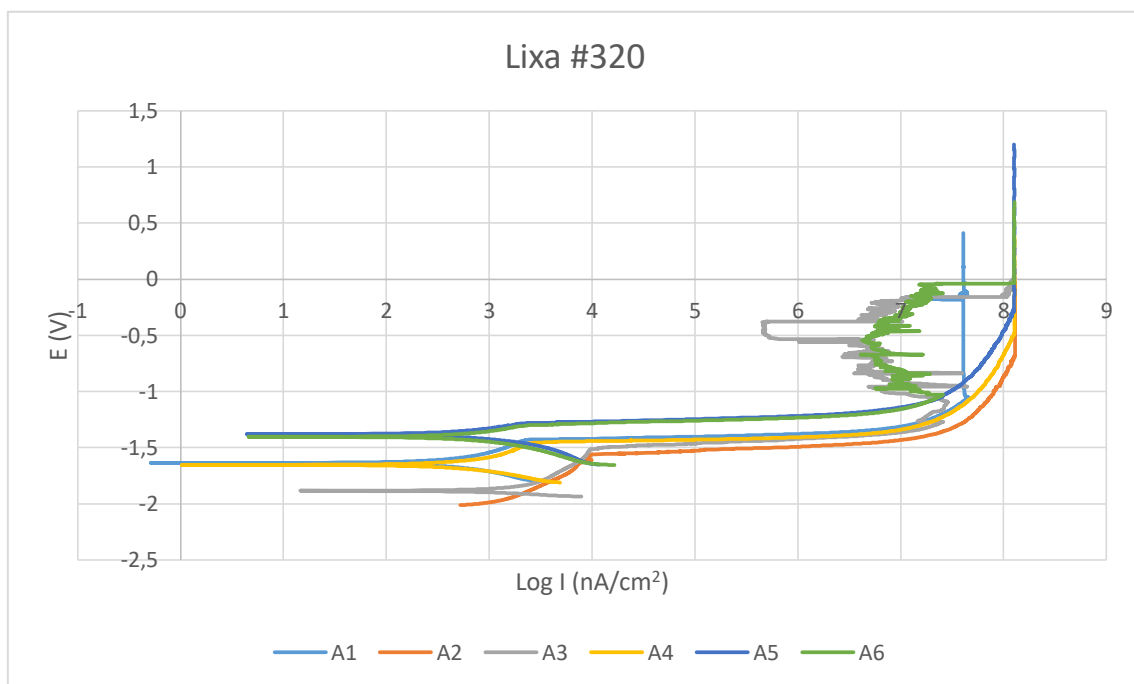
Também são observados diversos momentos em que o valor da corrente diminui, provavelmente devido a formação de bolhas. Essa deturpação no gráfico é mais grave e ocorre mais cedo que nos resultados da lixa anterior, isso

faz sentido considerando que ocorreu uma maior corrosão e, portanto, foram liberados mais gases.

5.3.3 Lixa #320

Os resultados obtidos das curvas potenciodinâmicas das amostras lixadas com a lixa de #320 foram plotados no gráfico demonstrado na figura 12.

Figura 12 – Resultado das curvas potenciodinâmicas na lixa #320



Fonte: Próprio Autor

Utilizando o método de Tafel, foi calculado o potencial de corrosão do alumínio para a lixa de #320 como de $-1,60 \text{ V} \pm 0,13 \text{ V}$ e a densidade de corrente foi de $2,75 \log (\text{nA}/\text{cm}^2) \pm 0,3 \log (\text{nA}/\text{cm}^2)$, o potencial de pite foi de $-1,4 \text{ V} \pm 0,1 \text{ V}$. O valor de potencial de corrosão foi diferente do valor de OCP. O valor do potencial de pite foi semelhante ao da lixa de #240, e os valores de potencial de corrosão maior que o da lixa #240 e densidade de corrente foram entre as lixas de #150 e #240.

Na figura 12 também é possível observar as quedas de valor de corrente provavelmente devido a produção de bolhas no processo de corrosão e uma mudança no comportamento da curva devido a repassivação.

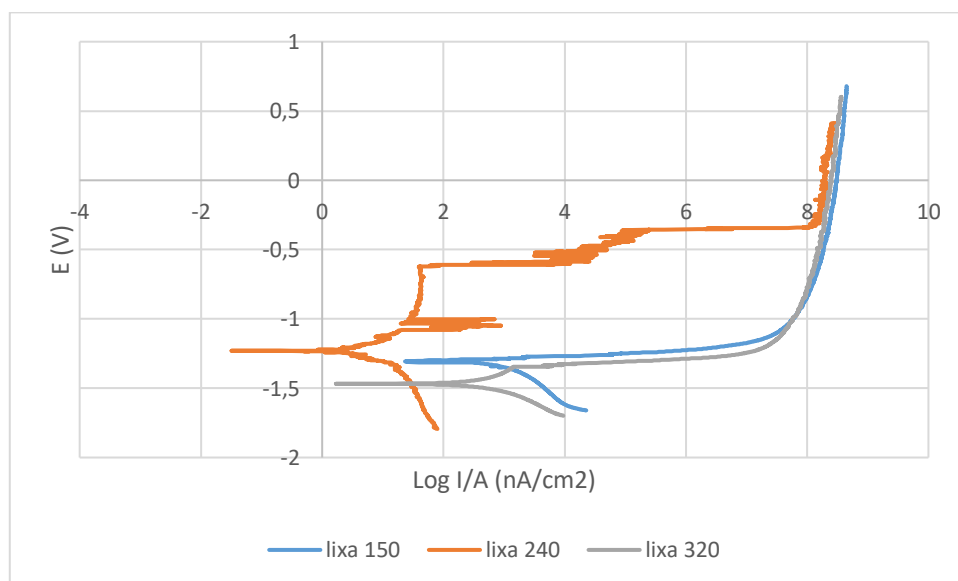
Os valores máximos de correntes que o potenciostato pode ler é de próximo de 1 A.

5.3.4 Experimentos com área menor

Devido a limitação do equipamento em ler o valor de corrente mais altas, foram realizados experimentos com a área exposta de 0,5 cm de arresta com a intenção que, devido a área ser menor, o valor da corrente também será menor e portanto estará dentro da faixa em que o equipamento consegue medir.

Os resultados obtidos das curvas potenciodinâmicas das amostras com área exposta menor foram plotados no gráfico demonstrado na figura 13.

Figura 13 – Resultado das curvas potenciodinâmica utilizando área menor



Fonte: Próprio Autor

Pode ser observado na figura 13 que não ocorre a abrupta parada de leitura de corrente, o que indica que o equipamento foi capaz de ler adequadamente os valores de corrente durante todo o experimento.

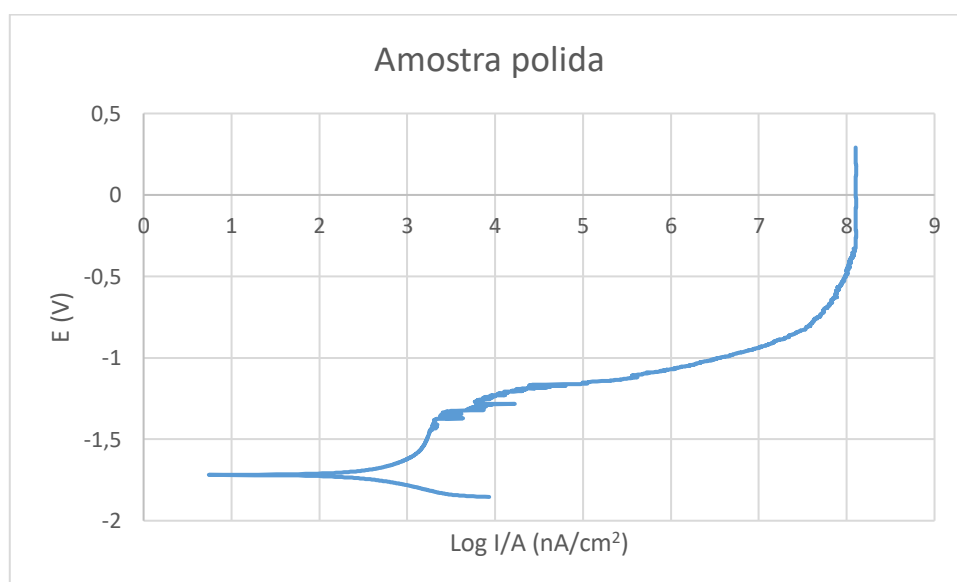
Porém, devido ao fato da área ser menor, quando há a formação de bolhas elas ocupam boa parte da superfície, o que pode resultar em problemas nos resultados.

5.3.4 Comparação com amostra polida

Não foi encontrado na literatura análises sobre o efeito da rugosidade sobre a corrosão do alumínio. É suposto que as amostras estejam polidas, ou que o acabamento superficial é próximo ao polido. Portanto foi realizado um ensaio com a amostra polida para comparar com a literatura e com as outras amostras obtidas nesse trabalho.

Os resultados obtidos das curvas potenciodinâmicas da amostra polida foi plotado no gráfico demonstrado na figura 14.

Figura 14 – resultado da curva potenciodinâmica da amostra polida



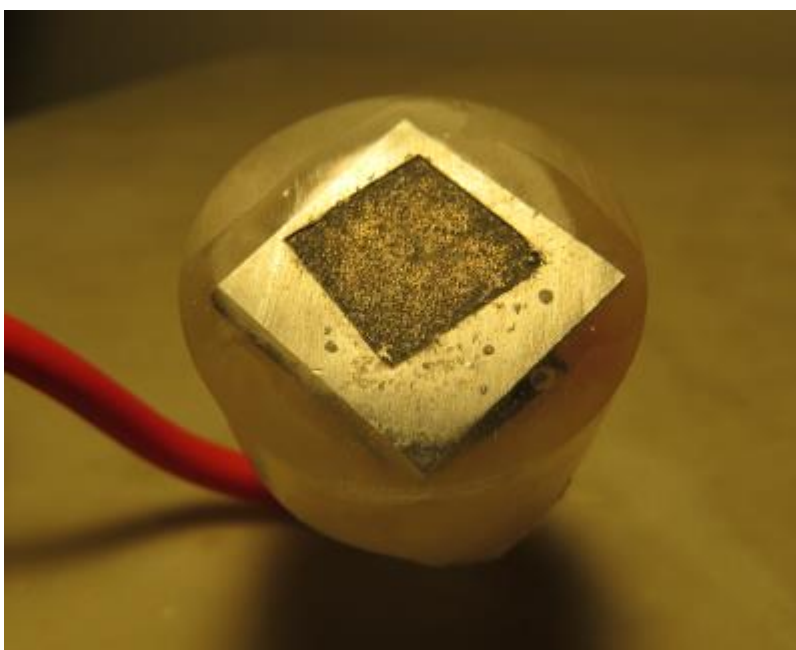
Fonte: Próprio Autor

A figura 14 mostra o resultado de uma curva potenciodinâmica para uma amostra polida. O OCP dessa amostra foi de $-0,8$ V, e curva de Tafel resultou em um potencial de corrosão de $-1,75$ V e uma densidade de $2,6 \log$ (nA/cm^2). O potencial de pite foi de $-1,25$. Como a amostra polida tinha uma área de 1 cm^2 como as outras amostras, não foi possível obter os dados da corrente após 1 A, porém pode se observar que começou a repassivação.

As imagens da corrosão das amostras lixada pela lixa de #320 e polida são demonstradas respectivamente nas figuras 15 e 16.

Os resultados numéricos para a amostra de pite não foram muito diferentes dos resultados das amostras lixadas, mas comparando as figuras 15 e 16, que mostram uma análise visual de uma das amostras lixadas após a corrosão e a amostra polida é possível observar como a corrosão na amostra polida foi maior que da amostra lixada.

Figura 15: Corrosão da amostra de lixa #320



Fonte: Próprio Autor

Figura 16: Corrosão da amostra polida



Fonte: Próprio Autor

Na tabela 3 é demonstrado os valores de potencial de corrosão, densidade de corrente e potencial de pite.

Tabela 3 – Resultados de potencial de corrosão, densidade de corrente e potencial de pite

Amostra	Lixa #150			Lixa #240			Lixa #320		
	E*	i*	E _p	E*	i*	E _p	E*	i*	E _p
A1	-1,6	2,6	-1,4	-1,75	2,9	-1,2	-1,6	2,55	-1,45
A2	-1,6	2,6	-1,3	-1,5	2,6	-1,4	-1,8	3,2	-1,6
A3	-1,6	2,5	-1,25	-1,8	2,8	-1,4	-1,6	2,5	-1,5
A4	-1,5	2,4	-1,35	-1,9	3	-1,6	-1,4	2,9	-1,45
A5	-1,5	3	-1,3	-1,8	2,9	-1,5	-1,6	2,6	-1,25
A6	-1,5	2,5	-1,35			-1,45			-1,3
A7						-1,5			
Media	-1,55	2,60	-1,33	-1,75	2,84	-1,43	-1,6	2,75	-1,43
Desvio	0,05	0,19	0,05	0,13	0,14	0,12	0,13	0,26	0,12

Fonte: Próprio Autor

6 CONCLUSÕES

Esse trabalho apresentou um estudo do comportamento do alumínio 5052F frente a corrosão por pite em solução de 3,5% de NaCl em diferentes rugosidades.

A análise metalográfica revelou os contornos de grão conforme o esperado, porém a análise de FRX apresentou uma composição química diferente das especificações industriais, apesar dessa diferença pode ser devido a uma limitação da técnica e não devido ao material possuir uma composição diferente do esperado.

Os ensaios eletroquímicos obtiveram resultados numéricos semelhantes, com a amostra polida tendo a maior resistência a corrosão que as amostras lixadas. Os valores de OCP e potencial de pite foram menores a medida que aumentava a rugosidade das lixas. O potencial de corrosão e de densidade de corrente da lixa #320 foi intermediário aos das lixas de #150 e #240.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugestão para trabalhos futuros utilizando o mesmo potenciostato seria preparar amostras com uma área menor que 1 cm^2 , para que seja possível uma amplitude maior de dados a serem analisados. Outra sugestão seria analisar o comportamento das amostras em rugosidades mais próximas da polida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- *Alumínio Naval 5052F*. Coppermetal. Disponível em <http://www.coppermetal.com.br/produtos_aluminio_naval5052f.html> Acesso em: 02 nov. 2018.
- *Alumínio Naval 5052-F*. GGDMetals. Disponível em <<http://www.ggdmets.com.br/produto/aluminio-naval-5052f/>> Acesso em: 02 nov. 2018.
- CALLISTER, W. D. *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. 5ed. São Paulo, 2002.
- *Catalogo alumínio 5052-F*. Império dos Metais. PDF Disponível em <http://www.imperiodosmetais.com.br/downloads/downloads_produtos/aluminio_moldes/5052-f.pdfhtml> Acesso em: 02 nov. 2018.
- COUTINHO, T. de A. *Metalografia de Não-Ferrosos: análise e prática*. Edgard Blucher, 1980.
- DALMORO, V. SANTOS, J. ALEMÁN, C. AZAMBUJA, D. *An assessment of the corrosion protection of AA2024-T3 treated with vinyltrimethoxysilane/(3-glycidyloxypropyl)trimethoxysilane*. Corrosion Science. 2015 vol: 92 pp: 200-208.
- FERRETTI, M. *Princípios e aplicações de espectroscopia de fluorescência de Raios X (FRX) com instrumentação portátil para estudo de bens culturais*. Disponível em <http://www.usp.br/cpc/v1/imagem/conteudo_revista_conservacao_arquivo_pdf/maferretti.pdf> Acesso em: 07 dez 2018.
- *Ficha técnica de alumínio*. Artisa Metais. Disponível em <<http://www.artisametais.com.br/6-1.html>> Acesso em: 02 nov. 2018.
- GENTIL, V. *Corrosão*. 4a ed. LTC, 2003. 360p.
- GUAN, F. ZHAI, X. DUAN, J. ZHANG, J. LI, K. et. al. *Influence of sulfate-reducing bacteria on the corrosion behavior of 5052 aluminum alloy*. Surface and Coatings Technology. 2017 vol: 316 pp: 171-179
- KIM, S. JANG, S. HAN, M. PARK, J. JEONG, J. et. al. *Mechanical and electrochemical characteristics in sea water of 5052-O aluminum alloy for ship*. Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 2013 vol: 23 (3) pp: 636-64.

- LIANG, M. MELCHERS, R. CHAVES, I. *Corrosion and pitting of 6060 series aluminium after 2 years exposure in seawater splash, tidal and immersion zones*. Corrosion Science. 2018 vol: 140 pp: 286-296
- LIU, J. ZHAO, K. YU, M. LI, S. *Effect of surface abrasion on pitting corrosion of Al-Li alloy*. Corrosion Science. 2018 vol: 138 pp: 75-84
- LUCAN, D. *Degradations of Incoloy 800 Steam Generator Tubing.*, Pitesti, Romania, Institute for Nuclear Research 2011.
- LY, R. HARTWIG, K. CASTANEDA, H. *Effects of strain localization on the corrosion behavior of ultra-fine grained aluminum alloy AA6061*. Corrosion Science. 2018 vol: 139 pp: 47-57
- NAEINI, M. SHARIAT, M. EIZADJOU, M. *On the chloride-induced pitting of ultra fine grains 5052 aluminum alloy produced by accumulative roll bonding process*. Journal of Alloys and Compounds. 2011 vol: 509 (14) pp: 4696-4700
- SANTOS, E. S. GAMA, E. M. FRANÇA, R. S. da. SOUZA, A. S. MATOS, R. P. *Espectrometria De Fluorescência De Raios-X Na Determinação De Espécies Químicas*. Disponível em <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/MULTIDISCIPLINAR/espectrometria.pdf>> Acesso em: 07 dez 2018.
- The Aluminum Advantage. The Aluminum Association. Disponível em <<https://www.aluminum.org/aluminum-advantage>> Acesso em: 02 nov. 2018.
- *The history of aluminium industry*. Aluminum Leader . Disponível em <https://www.aluminiumleader.com/history/industry_history/> Acesso em: 02 nov. 2018.
- WANG, J. XU, J. PAN, F. *Effect of annealing on microstructure and properties of Er modified 5052 alloy*. Results in Physics. 2018 vol: 10 pp: 476-480
- WOLYNEC, Stephan. *Técnicas Eletroquímicas em Corrosão*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2003.
- ZHANG, K. et. al. *Inhibitory effect of konjac glucomanan on pitting corrosion of AA5052 aluminium alloy in NaCl solution*. Journal of Colloid and Interface Science. 2018 vol: 517 pp: 52-60

- ZHOU, X. ZHANG, X. HASHIMOTO, T. LIU, B. *Localized corrosion in AA2024-T351 aluminium alloy: Transition from intergranular corrosion to crystallographic pitting*. *Materials Characterization*. 2017 vol: 130 pp: 230-236