



UNIVERSIDADE FEDERAL DE
CAMPINA GRANDE



CENTRO DE EDUCAÇÃO E SAÚDE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG
CENTRO DE EDUCAÇÃO E SAÚDE – CES
UNIDADE ACADÊMICA DE EDUCAÇÃO - UAE
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA

AVALIAÇÃO DA
RESISTÊNCIA A CORROSÃO DO AÇO INOXIDÁVEL AISI 304 SUBMETIDO À
ELETROPOLIMENTO EM MEIO ÁCIDO

Jacqueline Ferreira Santos Marques

Orientador Prof. Dr. Paulo Sérgio Gomes da Silva

CUITÉ – PB
2012

JACQUELINE FERREIRA SANTOS MARQUES

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA A CORROSÃO DO AÇO INOXIDÁVEL AISI 304
SUBMETIDO À ELETROPOLIMENTO EM MEIO ÁCIDO**

Monografia apresentada ao Curso de Licenciatura
Plena em Química da Universidade Federal de
Campina Grande, Centro de Educação e Saúde,
como forma de obtenção do Grau de Licenciatura.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Gomes da Silva

CUITÉ – PB

2012



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA NA FONTE
Responsabilidade Jesiel Ferreira Gomes – CRB 15 – 256

M357a Marques, Jacqueline Ferreira Santos.

Avaliação da resistência a corrosão do aço inoxidável AISI 304 submetido à eletropolimento em meio ácido. / Jacqueline Ferreira Santos Marques – Cuité: CES, 2012.

33 fl.

Monografia (Curso de Licenciatura em Química) – Centro de Educação e Saúde / UFCC, 2012.

Orientador: Dr. Paulo Sérgio Gomes da Silva.

1. Eletropolimento. 2. Aço inoxidável AISI 304. 3. Filmes de passivação. I. Título.

CDU 615.1

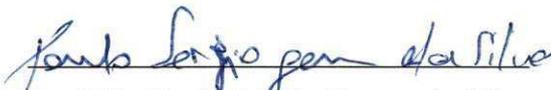
JACQUELINE FERREIRA SANTOS MARQUES

**Avaliação da Resistência a Corrosão do Aço Inoxidável AISI 304 Submetido à
Eletropolimento em Meio Ácido**

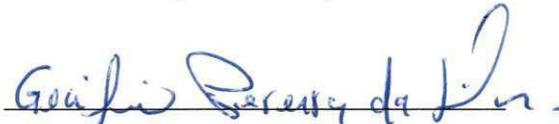
Monografia apresentada ao Curso de Química, para obtenção do grau de licenciatura plena em
Química.

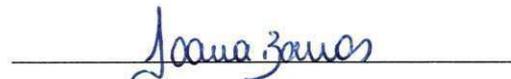
Aprovada em 25/10/2012

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Paulo Sérgio Gomes da Silva

(Orientador)


Prof. Dr. Gecilio Pereira da Silva


Prof.^ª Dra. Joana Maria de Farias Barros

Dedicatória

À meu esposo Alex Messias Marques, pelo incentivo, força, compreensão e paciência nas horas difíceis no decorrer da minha graduação. Que foi meu auxílio me motivando e me ajudando quando necessário, “TE AMO MEU AMOR”, e as minhas filhas Anny Adryele Marques Ferreira e Alexia Marques Ferreira, que foram e são responsáveis por essa conquista e são a razão de toda minha motivação.

Agradecimentos

Quero expressar minha gratidão através dessas poucas linhas à pessoas que marcaram essa etapa da minha vida, me ajudando de alguma forma, mesmo sem saber, aqui eu agradeço a todos.

Agradeço primeiramente a Deus, minha fortaleza. Que me deu forças nos momentos difíceis quando até pensava em desistir. Senhor obrigada.

À minha mãe, por todo apoio e compreensão, em todos os momentos.

À meu esposo Alex que nunca desistiu de mim, sempre me motivando e incentivando quando nem eu mais acreditava em mim. E às minhas filhas Adryele e Alexia, que mesmo sendo tão pequenas no decorrer deste curso, sempre foram muito compreensivas em momentos de estudo.

À todos meus professores da UFCG-CES, que me ajudaram me dando conhecimento para hoje ter chegado até aqui.

À meu orientador, Paulo Sérgio Gomes da Silva, pela ajuda nesse trabalho de conclusão, e pelo auxílio em todos os trabalhos realizados no laboratório.

Ao Professor Gecilio Pereira da Silva, por ter me dado a oportunidade de trabalhar com ele a maior parte da graduação, me ajudando e me apoiando sempre que preciso, e sobretudo sendo um grande amigo pra todas as horas.

Ao Professor Marciano Henrique de Lucena, coordenador do curso de Química, pelo seu companheirismo, apoio e dedicação aos alunos do curso.

Aos meus amigos, em especial Fátima, única companheira que restou da turma, que de uma forma ou de outra me ajudou no decorrer do curso incentivando ao estudo.

À UFCG, e especificamente ao CES e ao LEC e sua equipe de professores pelo espaço e tempo cedido para orientação desse trabalho.

Enfim, sou grata a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para realização deste trabalho.

Resumo

Neste trabalho visamos realizar um estudo da resistência à corrosão do aço inoxidável AISI 304 em meio ácido. As amostras avaliadas foram previamente submetidas a um tratamento eletroquímico denominado eletropolimento. Este processo caracteriza-se por ser de natureza anódica, ou seja, inverso à eletrodeposição. Placas planas de aço inoxidável AISI 304, foram eletropolidas aplicando-se uma carga fixa de 240 C em densidades de correntes de 400, 680 e 960 mAcm⁻². Após o eletropolimento todas as amostras apresentaram-se semibrilhantes, contudo, as amostras processadas com densidades de correntes mais elevadas exibiram melhoria acentuada de homogeneidade. Estes resultados observados pela análise visual tornaram-se ainda mais evidentes a partir das análises microscópicas superficiais das amostras. Os ensaios de corrosão foram feitos utilizando-se as técnicas de Polarização Linear Potenciodinâmica (PPL) e Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE), em meio de H₂SO₄ 2M e em duplicata. Foram avaliadas amostras submetidas ao processo de eletropolimento nas diferentes condições de densidades de corrente, bem como amostras em seu estado “natural”, no intuito de avaliar comparativamente a influência dos tratamentos sobre a resistência à corrosão das mesmas. Os resultados indicaram que a técnica foi eficiente para aumentar a resistência à corrosão pela formação de um filme de passivação rico em cromo. Constatou-se que o eletropolimento constitui-se em um importante processo tecnológico que pode ser aplicado para remoção de óxidos indesejados, melhorar a aparência e para promover a formação de uma camada de óxidos de cromo estável e homogênea nos aços AISI 304.

Palavras-Chave: Eletropolimento, Aço Inoxidável AISI 304, Filmes de Passivação.

Abstract

In this work we aim to conduct a study about the corrosion resistance of the stainless steel AISI 304 in medium acid. The samples analyzed were previously submitted to an electrochemical treatment called electropolishing. This process is characterized by being anodic in nature, in other words, inverse to electrodeposition. Flat plates of stainless steel AISI 304 were electropolished by applying a fixed charge of 240 C at current densities of 400, 680 and 960 mA cm^{-2} . After the electropolishing, all samples were semi-gloss, however, the samples processed with higher current densities exhibited marked improvement of homogeneity. These results, observed by visual analysis, became even more evident from the superficial microscopic analyses of the samples. The corrosion tests were made using the Potentiodynamic Linear Polarization (PLP) and Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) techniques, in the midst of 2M H₂SO₄ and in duplicate. We evaluated samples submitted to the electropolishing process in different conditions of current densities, as well as samples in their "natural" state, with the aim of comparing the influence of the treatments on corrosion resistance. The results indicated that the technique was effective to increase corrosion resistance by forming a passivation film rich in chromium. It was found that the electropolishing means an important technological process that can be applied to remove unwanted oxides, as well as it can improve the appearance and promote the formation of a layer of chromium oxides, stable and homogeneous in steels AISI 304.

Keywords: Electropolishing, Stainless Steel AISI 304, passivation films.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVO.....	15
2.1 Objetivo Geral.....	15
2.2 Objetivos Específicos.....	15
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
3.1 Propriedades dos Aços Inoxidáveis.....	16
3.2 Aço Inoxidável AISI 304.....	17
3.3 Filmes Passivos.....	18
3.4 Eletropolimento.....	19
3.5 Ensaio de Corrosão.....	19
3.5.1 Polarização Potenciodinâmica Linear (PPL).....	20
3.5.2 Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE).....	21
4 METODOLOGIA.....	23
4.1 Eletropolimento.....	23
4.1.1 Condições Operacionais do Eletropolimento.....	23
4.2 Ensaio de Corrosão.....	23
4.3 Microscopia.....	24
4.4 Composição do Aço.....	24
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
5.1 Eletropolimento.....	25
5.2 Ensaio de Corrosão.....	26
5.2.1 Polarização Potenciodinâmica Linear (PPL).....	26
5.2.2 Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE).....	28
5.3 Micrografias.....	29
6 CONCLUSÕES.....	31
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32

Lista De Figuras

Figura 01 - Variação da densidade de corrente com o potencial.	21
Figura 02 - Diagrama de Nyquist, com o seu circuito equivalente	22
Figura 03 - Esquema da célula eletroquímica utilizada no eletropolimento	26
Figura 04 - Curva de polarização para o aço inoxidável AISI 304 sem tratamento	27
Figura 05 – Curva de polarização para o aço inoxidável AISI 304 com densidade de corrente de 400 mAcm^{-2}	27
Figura 06 - Curva de polarização para o aço inoxidável AISI 304 com densidade de corrente de 680 mAcm^{-2}	27
Figura 07 – Curva de polarização para o aço inoxidável AISI 304 com densidade de corrente de 960 mAcm^{-2}	27
Figura 08 – Curva de impedância para o aço inoxidável AISI 304 – sem eletropolimento	28
Figura 09 – Curva de impedância para o aço inoxidável AISI 304 com densidade de corrente de 400 mAcm^{-2}	28
Figura 10 – Curva de impedância para o aço inoxidável AISI 304 com densidade de corrente de 680 mAcm^{-2}	29
Figura 11 – Curva de impedância para o aço inoxidável AISI 304 com densidade de corrente de 960 mAcm^{-2}	29
Figura 12 – Micrografia do aço inoxidável AISI 304 – sem eletropolimento	30
Figura 13 – Micrografia do aço inoxidável AISI 304 com densidade de corrente de 400 mAcm^{-2}	30
Figura 14 – Micrografia do aço inoxidável AISI 304 com densidade de corrente de 680 mAcm^{-2}	30
Figura 15 – Micrografia do aço inoxidável AISI 304 com densidade de corrente de 960 mAcm^{-2}	30

Lista Tabelas

Tabela 01: Composição do aço inoxidável AISI 304	25
Tabela 02: Resultados das análises de corrosão por PLP	28
Tabela 03: Resultados das análises das Resistências a Polarização pó EIE	29

1. INTRODUÇÃO

A expressão usual aço inoxidável, nos dá uma idéia de um material que não se degrada mesmo quando submetido a condições extremas de utilização. São ligas de ferro e cromo com um mínimo de 10,50% de Cr; outros elementos metálicos e não metálicos também integram estas ligas, mas o Cr é considerado o elemento mais importante porque é o que promove sua elevada resistência à corrosão.

A composição química dos aços inoxidáveis determina suas propriedades mecânicas, bem como sua resistência à corrosão e ao calor. Assim, os aços inoxidáveis podem ser divididos em três principais classes, a saber, (ACESITA, 1989):

-**Aços inoxidáveis austeníticos:** liga composta por 18% de Cr e 8% de Ni, podendo ainda conter molibdênio e outros elementos.

-**Aços inoxidáveis ferríticos:** ligas de Fe-Cr, que contém entre 11,5 e 27% de Cr, com adições de Mn e Si, e ocasionalmente Ni, Al, Mo, Ti ou Nb.

-**Aços inoxidáveis martensíticos:** ligas contendo entre 12% e 18% de cromo e 0,12% a 1,2% de carbono.

Os aços inoxidáveis austeníticos apresentam boas propriedades de resistência à corrosão e excelente soldabilidade e ductilidade em relação aos aços dos demais grupos. Dos aços austeníticos, o AISI 304 o mais utilizado. Sua aplicabilidade é bastante abrangente, sendo utilizado em várias áreas: indústria alimentícia, farmacêutica, química, petroquímica, construção civil e até mesmo na fabricação de utensílios domésticos. As propriedades dos aços inoxidáveis pertencentes às outras duas classes serão abordadas posteriormente.

A elevada resistência à corrosão dos aços inoxidáveis deve-se ao fenômeno da passividade. Os elementos de liga presentes nestes materiais reagem com facilidade com o meio ambiente e um deles, em particular, o cromo, forma um filme fino e aderente que protege o material de subseqüentes ataques corrosivos. Este filme é conhecido como filme passivo. O filme passivo dos aços inoxidáveis resulta da reação entre o material e a água ou o ar, presente no meio ambiente (a umidade do ar condensa sobre a superfície fria do metal). O produto dessa reação é um oxi-hidróxido de cromo e ferro, sendo que, na região mais próxima à superfície metálica, predomina um óxido e, na região mais próxima ao meio ambiente, predomina um hidróxido. Com o decorrer do tempo, a camada de óxido aumenta, não acontecendo o mesmo com a de hidróxido e, aparentemente, existe um enriquecimento do filme passivo. Apesar de invisível, e com espessura finíssima, essa película é muito estável e

aderente ao material e tem sua resistência aumentada à medida que mais cromo é adicionado à liga. A adição de outros elementos de liga, como níquel, molibdênio, nióbio e titânio, por exemplo, conferem propriedades mecânicas características e permite que o aço inoxidável seja dobrado, soldado, estampado e trabalhado de forma a poder ser utilizado nos mais variados produtos.

Na confecção de artefatos de aços inoxidáveis muitas vezes deseja-se obter além de boas propriedades mecânicas e de resistência à corrosão um bom aspecto decorativo. Nestes casos são feitos tratamentos mecânicos como jateamento, lixamento ou polimento com materiais abrasivos, permitindo a obtenção de aspectos escovados, foscos ou polidos. Outra alternativa bastante utilizada, trata-se dos polimentos eletroquímicos onde podem ser obtidas superfícies com excelentes acabamentos em relação a aparência, uniformidade e brilho. Esses acabamentos podem assemelhar-se aos obtidos nos revestimentos eletrolíticos de cromo. Uma grande vantagem do eletropolimento em relação aos tratamentos mecânicos é a homogeneidade do desgaste superficial obtido por essa técnica.

O eletropolimento é um processo eletrolítico anódico, caracterizado por ser inverso a eletrodeposição. Aplicada aos aços inoxidáveis, essa técnica permite a formação de um filme anódico de óxido de cromo, que protege o material das ações da corrosão. Esse filme pode então ser chamado de filme de passivação anódico.

Os Tratamentos superficiais mecânicos também são métodos comumente aplicados para equipamentos fabricados em aço inoxidável. Normalmente são realizadas operações de lixamento manual ou mecânico, que consistem no trabalho efetuado com abrasivos específicos para este fim (discos, rodas, folhas ou cintas de lixa), variando-se geralmente as granulometrias de aproximadamente 36 a 400 mesh para uniformizar a superfície, suavizar costuras de solda ou eliminar o próprio cordão e alcançar apropriadas tolerâncias dimensionais. Assim, são produzidas na superfície texturas rugosas compostas de picos e vales (sulcos superficiais). Eventualmente esses tratamentos podem ser seguidos de polimento mecânico, que consistem no trabalho realizado com pastas ou massas abrasivas, aplicadas à superfície com rodas de pano, feltro ou material similar, variando-se a granulação desde 320 até próximas a 1000 mesh, que produzem na mesma um aspecto espelhado. Neste processo, a aparência brilhante e reflexiva ocorre devido o “tombamento” dos picos superficiais originados em operações anteriores.

As operações mecânicas de remoção de camadas superficiais, como lixamento e trabalhos a frio combinados com aquecimento localizado, afetam prejudicialmente a estrutura cristalina do material na superfície modificando suas propriedades. Pois, promovem

microfissuras, modificações estruturais e fadiga nestas áreas, podendo alterar até uma profundidade de 50 μm . Normalmente as superfícies lixadas ou eventualmente polidas mecanicamente resultam em problemas e ocorrências superficiais como segue (Grupo Humma):

As tensões de tração, que são criadas na camada superficial do material, através do trabalho a frio, decorrente de lixamento ou polimento mecânico, podem propiciar a corrosão acelerada da superfície ou tornar a mesma de difícil limpeza, se os contaminantes agregados não forem totalmente solúveis, além de originar corrosão sob tensão fraturante caso o material seja exposto ao meio contendo íons halogênicos (principalmente cloretos).

Rugosidade que permite a aderência e incrustação de produtos, nos componentes e equipamentos industriais, ocasionando diminuição de vazão, baixa transmissão de calor, e principalmente perda de carga de produtos em função de contaminação bacteriológica entre outras. Em função de problemas de incrustação os custos de manutenção acabam sendo elevados, pois as paradas para limpeza são mais frequentes fazendo com que o rendimento do sistema diminua consideravelmente.

Aumento de área superficial possibilitando a preferência de depósitos de contaminantes ocasionando vários problemas, entre eles a corrosão, uma vez que a área de contato com os prováveis produtos agressivos podem ter acréscimo de cerca de 80% em relação à área efetiva.

O tombamento dos picos resulta nas chamadas micro bolsas de polimento mecânico e estas tendem a armazenar impurezas, incluindo lubrificantes de polimento, grafite, cera parafínica e partículas dos materiais abrasivos (silicatos). Essas substâncias podem proporcionar condições para o desenvolvimento de colônias de bactérias possibilitando contaminação bacteriológica que é bastante crítica em muitas aplicações. Além disso, estes contaminantes podem atuar como barreira entre o meio e a superfície metálica impedindo sua autopassivação. Como se pode observar o acabamento mecânico de uma superfície melhora o nivelamento superficial atendendo os requisitos de aparência, brilho e aspectos dimensionais, todavia não elimina os problemas mencionados. Portanto, superfícies tratadas mecanicamente são aparentemente satisfatórias, porém não atendem as necessidades requeridas em muitos setores industriais.

Os processos de eletropolimento produzem uma combinação de propriedades que não podem ser alcançadas por qualquer outro tratamento mecânico. A resistência à corrosão do aço inox eletropolido excede a de processos de passivação posteriores aos trabalhos de lixamento e polimento mecânico. A estrutura das superfícies de aços inoxidáveis eletropolidos

é alterada apenas em micro escala. Toda a rugosidade e linhas de fissuras na estrutura são aplainadas e removidas. Por outro lado, a superfície fica livre de rebarbas, poros e resíduos de material, o que elimina os problemas de incrustação e aderência de produtos nas paredes dos equipamentos.

O eletropolimento pode remover do cristal do metal, átomo por átomo, com rápido ataque nas áreas de alta densidade de corrente e menor ataque nas áreas de baixa densidade de corrente, resultando em uma redução geral do perfil da superfície, promovendo nivelamento e brilho. Este nivelamento traduz-se em um acabamento brilhante reflexivo, com uma pequena remoção de metal (30-40 μm). Um efeito importante é causado pelas diferenças de quantidade de remoção dos componentes da liga, onde átomos de ferro e níquel geralmente são mais facilmente removidos do retículo cristalino do que os átomos de cromo, ou seja, o processo de eletropolimento remove o ferro e o níquel preferencialmente, deixando uma camada superficial rica em cromo. Os filmes de passivação formados nesse caso são ricos em cromo e bastante resistentes à corrosão.

Este trabalho propõe avaliar a resistência à corrosão do aço inoxidável austenítico AISI 304 submetido ao processo de eletropolimento em meio ácido, sob diferentes condições de densidade de corrente. Assim, busca-se uma correlação entre as condições de operação de execução do eletropolimento e a extensão da formação de camadas de passivação associadas ao enriquecimento de cromo superficial.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar a resistência a corrosão conferida ao aço inoxidável AISI 304, por filmes de passivação anódicos formados em tratamentos de eletropolimento em meio ácido.

2.2 Objetivos Específicos

- Obter um acabamento uniforme com brilho reflexivo superficial melhorando sua aparência e diminuindo o coeficiente de atrito;
- Eliminar rebarbas de processamentos mecânicos prévios (no caso particular as operações de corte);
- Promover uma passivação mais eficaz com o aumento do teor de cromo superficial obtido através do eletropolimento;
- Avaliar a possibilidade de obtenção de uma passivação eficaz com uma decapagem leve.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Propriedades dos Aços Inoxidáveis

Para ser considerado um aço inox, na sua composição deve ser identificado no mínimo 10,5% de Cromo. Os aços inoxidáveis podem ser classificados em:

- **Aços inoxidáveis austeníticos:** Têm boa formabilidade, soldabilidade e resistência à corrosão. Devido a sua estrutura cúbica de face centrada – FCC, eles não são magnéticos e são tenazes a baixas temperaturas (LESLIE, W. C, 1981). Possuem aplicações diversas nos setores da construção civil, bens de consumo duráveis, máquinas e equipamentos industriais, indústrias químicas e petroquímicas, dentre outras. Atualmente o aço inoxidável austenítico mais utilizado é o tipo AISI 304 que contém, basicamente, 18% de cromo e 8% de níquel, sendo o carbono limitado a um máximo de 0,08% (ACESITA, 1989).

- **Aços inoxidáveis ferríticos:** são ligas de Fe-Cr, contendo de 11,5 a 27% de Cr, com adições de Mn e Si, e ocasionalmente Ni, Al, Mo, Ti ou Nb. Apresentam estrutura cúbica de corpo centrado – CCC, são usados porque possuem boa resistência à corrosão inclusive em altas temperaturas e boa conformabilidade mecânica. A adição de Mo normalmente melhora a resistência à corrosão por pite e reduz a formação de fissuras. O Ni é adicionado para aumentar a resistência ao ataque de ácidos e Nb e Ti são adicionados para diminuir os efeitos do fenômeno da sensitização. Esta consiste da precipitação de filmes de $(Cr, Fe)_7C_6$ ou $(Cr, Fe)_{23}C_6$ nos contornos de grão (LESLIE, W. C, 1981). O aço inoxidável ferrítico principal é o tipo AISI 430, que contém 16% a 18% de cromo e um máximo de 0,12% de carbono. Essa família é amplamente utilizada na construção civil, fabricação de bens de consumo duráveis, utensílios de cozinha, pias, estocagem de ácido nítrico, indústria automobilística, etc. (LESLIE, W. C, 1981, ACESITA, 1989).

- **Aços inoxidáveis martensíticos:** o que diferencia o aço inoxidável martensítico do ferrítico é basicamente o teor de carbono. Os aços inoxidáveis martensíticos contêm de 12% a 18% de cromo e de 0,12% a 1,2% de carbono. Os mais utilizados são o tipo AISI 410, que contêm 11,5% a 13,5% de Cr e 0,15% de C (máximo), os do tipo 420, contêm 12,0% a 14,0 % de Cr e 0,15% de C (máximo) (ACESITA, 1989, LESLIE, W. C, 1981). Quando temperados são muito duros e pouco dúcteis sendo precisamente nesta condição, que são resistentes à corrosão. No revenimento após têmpera os de baixo carbono, a faixa de temperatura entre 440°C e 540°C deve ser evitada devido a uma grande redução na resistência

ao impacto que acompanha o endurecimento da liga. A fragilização no revenimento pode ser reduzida pela adição de Nb, que parece afetar a nucleação de Cr_{23}C_6 . A fragilização no revenimento em aços com 12% de Cr, também, aumenta a tendência à formação de trincas por corrosão sob tensão. Após a têmpera e revenimento estes aços não devem ser aquecidos acima de 500 °C para evitar a precipitação do Cr_{23}C_6 nos contornos de grão da austenita (LESLIE, W.C, 1981).

Outra forma de classificação dos aços inoxidáveis é dividi-los em dois grandes grupos: a série 400, que são os aços inoxidáveis ferríticos, que são magnéticos e possuem uma estrutura cúbica de corpo centrado e a série 300, que são os aços inoxidáveis austeníticos, que não são magnéticos e possuem uma estrutura cúbica de faces centradas. Assim, a série 400 pode ser ainda subdividida em dois grupos, os ferríticos propriamente ditos, e os martensíticos, que são temperáveis. (CARBÓ, H. M. 2001).

3.2 Aço Inoxidável AISI 304

Atualmente, mesmo em meio a uma grande busca por novos materiais com propriedades distintas para diferentes utilizações, os aços inoxidáveis continuam sendo os mais utilizados e mais importantes em termos de empregabilidade e um vasto número de aplicabilidade. Devido a suas propriedades mecânicas e metalúrgicas, os aços inoxidáveis possuem diversas aplicações, tanto por sua beleza e versatilidade, como pela sua facilidade de limpeza e esterilidade (Sanches, L. P; 2009).

O cromo e o níquel são os elementos de liga principais presentes na composição dos aços inoxidáveis, a presença do cromo aumenta grandemente, a resistência à corrosão; o níquel, por sua vez, promove a formação e estabilização da austenita, promovendo um aumento considerável na resistência mecânica (Bubani, F. C. et al). A fase austenita possui uma estrutura cristalina cúbica de face centrada e permite uma maior quantidade de carbono dissolvida em sua matriz, o que proporciona um aumento na dureza (Zaika, A. C. 2007).

O cromo e o Níquel presentes na liga AISI 304 têm as seguintes funções:

- **Cromo:** elemento de liga mais importante. Aumenta consideravelmente a resistência à corrosão e a oxidação. O aumento de cromo nos aços inoxidáveis austeníticos desestabiliza a austenita, favorecendo a formação de ferrita e de fases intermetálicas, aumenta a atividade do carbono favorecendo a formação de compostos M_{23}C_6 .

- **Níquel:** elemento estabilizador da austenita, aumenta a atividade do carbono, aumenta também a resistência à corrosão sob tensão em soluções e tem pequena influência quanto à corrosão localizada (Zaica, A. C, 2007).

Os aços inoxidáveis austeníticos do tipo AISI 304 possuem estrutura cúbica de face centrada (CFC) e, quando deformados, podem apresentar transformações martensíticas, o que aumenta sua resistência mecânica quando trabalhados a frio. Além disto, pequenas alterações na composição química desses aços, como a substituição de parte de níquel por cobre, levam a alterações consideráveis no comportamento mecânico. Entretanto em relação às transformações martensíticas induzidas por deformação nesse aço e sua influência nas propriedades mecânicas persistem muitas dúvidas. (Simões, M. S. et al, 2010).

3.3 Filmes Passivos

Passivação é a capacidade que um material apresenta de resistir à corrosão através da formação de um filme superficial muito rico em um determinado elemento, como o cromo no presente caso, que o protege de ataques corrosivos. Essa pode ser obtida como resultado de um processo de limpeza/tratamento final usado para remover metais ou outros contaminantes das superfícies de peças de aço, obtendo-se a formação uniforme de uma superfície passiva. Este tratamento induz um potencial mais nobre (catódico) na superfície da peça, melhorando a resistência à corrosão.

Nos aços inoxidáveis os filmes anódicos de óxido/hidróxido são muito finos (10 a 50 Angstroms “Å”) e possuem um elevado teor de cromo. Assim, os benefícios da passivação superficial são o aumento da proteção à corrosão e obtenção de superfícies livres de contaminantes, o que permite uma maior vida do sistema e pureza dos fluidos que circulam no processo. Há muitos parâmetros físicos importantes na medição de uma superfície resistente à corrosão incluindo: área da superfície (rugosidade), profundidade da camada de óxido, razão de cromo para ferro e inclusões contaminantes na superfície (Morellato, Fawler).

Aços inoxidáveis austeníticos podem estabelecer uma superfície passivada tanto naturalmente quando submetidos a ambientes oxidantes como eletroquimicamente através de processos de formação de filmes anódicos, e essa passivação vai constituir um filme passivo que é essencial para elevar ao máximo a resistência à corrosão que os metais oferecem.

3.4 Eletropolimento

O polimento em superfícies de aço inox pode ser feito através de processos mecânicos ou eletroquímicos. O processo eletroquímico pode ser chamado de eletropolimento, que consiste em submeter peças de aço inoxidável como ânodo (pólo positivo) num eletrólito e aplicar uma corrente contínua durante um tempo determinado de modo a formar uma película polida, uniforme e resistente.

O eletropolimento remove material da superfície para produzir um filme de óxido passivado mais aplainado e resistente à corrosão. Isto remove contaminantes hidrocarbonetos e nivela a morfologia da superfície removendo picos, fissuras e fendas. Este processo promove uma diminuição da fadiga e tensão que sempre resultam em corrosão por pites e corrosão sob tensão (Morellato, Fawler).

Melo et al (2012) Estudaram vários aços inoxidáveis para a fabricação de componentes usados em reatores nucleares, entre eles o aço AISI 348L. Foi estudada uma forma de melhorar as propriedades desses aços e otimizar as condições da superfície externa com a finalidade de aumentar a troca térmica e diminuir a taxa de impregnação de resíduos durante a operação do reator. Foi aplicada as técnicas de tratamento superficial por processo de eletropolimento, e esse trabalho investigou a influência de alguns parâmetros, como temperatura, potencial e tempo de eletropolimento sobre as características da superfície obtida. Constatou-se uma efetiva diminuição da rugosidade superficial, remoção controlada de material e uma melhora das propriedades de corrosão de tubos de aço AISI 348L eletropolidos.

3.5 Ensaios de Corrosão

Partindo-se do princípio que os processos de corrosão envolvem fenômenos eletroquímicos, medidas eletroquímicas são extensivamente utilizadas no estudo dos mecanismos de processos de corrosão. Técnicas foram desenvolvidas e hoje são usadas em laboratório para determinar taxas de corrosão de aços inoxidáveis e outros metais, sendo largamente utilizadas. Dentre estas, destacam-se a polarização potenciodinâmica linear (PPL) e a espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE) (Sanches, L. P; 2009), que serão abordadas no presente trabalho, cujas aplicações envolvem a avaliações qualitativas do desempenho das amostras de aço inoxidável avaliadas antes e após serem submetidas a eletropolimento em meio ácido.

3.5.1 Polarização Potenciodinâmica Linear (PPL)

Quando um metal está submerso em uma solução, a interface eletrodo/eletrólito apresenta duas camadas elétricas de sinais opostos, conhecida como *dupla camada* (GEMELLI, 2001). A primeira camada é composta das cargas negativas da superfície do metal e moléculas de solvente adjacentes à superfície, e a segunda camada é formada pelas cargas positivas dos íons metálicos solvatados. Com a formação da dupla camada, a velocidade, tanto no sentido da oxidação, quanto no sentido da redução, será a mesma, estabelecendo-se, assim, um potencial de equilíbrio (E_e) característico da reação. Se, por um processo qualquer (por exemplo, por imposição de um potencial externo), este potencial for alterado, diz-se que o eletrodo sofreu polarização e as condições de equilíbrio foram desfeitas. A extensão da polarização, medida com relação ao potencial de equilíbrio, é chamada de sobretensão ou sobrepotencial (η) (WOLYNEC, 2003):

$$\eta = E - E_e$$

Se η for positivo, tem-se uma polarização anódica, e se η for negativo, uma polarização catódica. Quando a polarização for anódica (potencial mais nobre), criam-se condições para a remoção dos elétrons produzidos na reação procedendo no sentido de dissolução anódica. Se a polarização for catódica (potencial menos nobre), tem-se um suprimento de elétrons e a reação procede no sentido de deposição catódica (WOLYNEC, 2003).

A velocidade das reações de eletrodo depende do potencial, variando linearmente com a densidade de corrente conforme a lei de Faraday. Medindo-se a densidade de corrente em função do potencial, ou vice-versa, obtém-se uma *curva de polarização*, que fornece informações sobre a cinética das reações de eletrodo (GEMELLI, 2001).

Quando se impõe variação contínua do potencial ou da corrente, têm-se, respectivamente, as curvas de polarização potenciostática ou galvanostática. No método potenciostático, aplicam-se diferentes potenciais entre o eletrodo de trabalho (material a ser estudado) e um eletrodo de referência. Mede-se a corrente estacionária que se estabelece após certo tempo no circuito elétrico entre o eletrodo de trabalho e um eletrodo inerte auxiliar. Este método permite manter um potencial constante desejado entre o eletrodo de trabalho e o eletrodo de referência. O método galvanostático utiliza uma fonte de corrente contínua que permite impor uma corrente constante. Mede-se a diferença de potencial entre o eletrodo de

trabalho e um eletrodo de referência (GEMELLI, 2001). Geralmente um mesmo equipamento pode trabalhar como potenciostato ou como galvanostato.

Pode-se obter informações sobre a velocidade de corrosão, controlada pela transferência de cargas, através de medidas de resistência a polarização (R_p). A resistência de polarização é definida como o inverso da inclinação da reta tangente à curva de densidade de corrente exatamente no potencial de corrosão (E_{corr}), como mostrado na Figura 1:

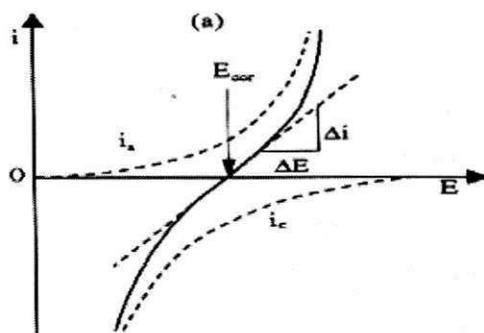


Figura 01 – Variação da densidade de corrente com o potencial.

3.5.2 Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE)

Um sinal alternado de potencial, de pequena amplitude, aplicado em um sistema constituído de uma interface eletrodo/solução, origina um sinal alternado de corrente como resposta. A razão entre a perturbação e a resposta corresponde à impedância do sistema. A técnica para determinar a impedância de um sistema eletroquímico é a espectroscopia de impedância.

A impedância de um circuito representa o nível de dificuldade pelo qual um sinal elétrico (potencial ou corrente) enviado a esse circuito encontra ao percorrê-lo. Quando uma voltagem alternada for aplicada a um circuito, a corrente resultante pode ser determinada utilizando a lei de Ohm ($V = IR$) através da substituição da resistência R pela reatância X de cada elemento passivo em questão. Dessa forma é possível representar qualquer reatância, ou a impedância Z de uma combinação de reatâncias, como um vetor em um plano real-imaginário, de acordo com o diagrama de Argand. Uma forma de representar a variação da impedância com a frequência é o diagrama de Nyquist (Figura 02), o qual é uma extensão do diagrama de Argand, utilizando a frequência como uma variável.

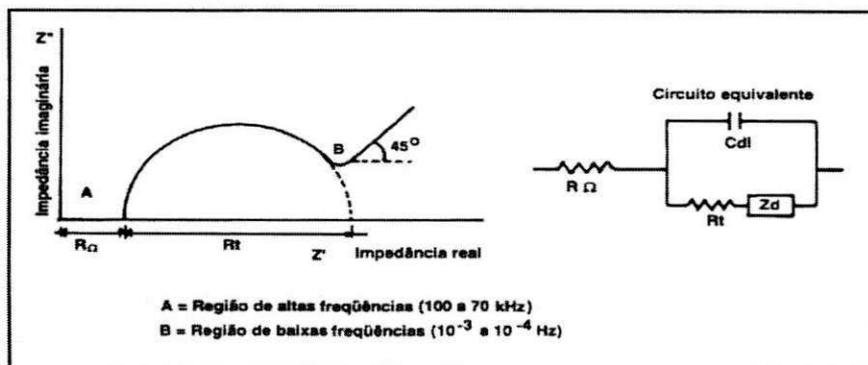


Figura 02 - Diagrama de Nyquist, com o seu circuito equivalente.

O diagrama de Nyquist é a forma mais usada para expressar os resultados obtidos através da técnica de impedância. Este consiste de uma série de pontos, cada um representando a grandeza e a direção do vetor de impedância para uma frequência particular. Este diagrama é um plano complexo (real-imaginário) de coordenadas cartesianas, onde se tem, nas abscissas, a parte real (termos resistivos) e, nas ordenadas, a parte imaginária (termos capacitivos ou indutivos). Tanto a mudança de fase quanto a amplitude são dependentes da frequência e os dados de impedância para uma determinada amostra são obtidos sob uma larga variação de frequência (100 kHz a 10 mHz), dessa forma produzindo o diagrama de Nyquist (Wolyneec, 2003).

Quanto maior for a impedância do sistema tanto mais passivo será este sistema, ou seja, maior será a restrição do referido sistema à condução de corrente, significando que a taxa de corrosão ou densidade de corrente de corrosão ao longo do sistema de análise será a mais baixa possível. No processo inverso, quanto menor a impedância tanto menor será a restrição à passagem corrente, corrente esta que está associada ao processo eletroquímico de corrosão.

4. METODOLOGIA

Neste trabalho placas do aço inoxidável AISI 304, com área geométrica aproximada de 8 cm² foram submetidas a um eletropolimento em meio ácido, e em seguida foram feitos os ensaios de corrosão utilizando as técnicas EIE e PPL.

4.1 Eletropolimento

O processo de eletropolimento consistiu das seguintes etapas de pré-tratamento e pós-tratamento:

- Desengraxe em solução alcalina (NaOH 50% m/v) - 1,0 minuto;
- Ativação em HCl concentrado – 30 segundos;
- Secagem em corrente de ar quente;
- Pesagem;
- Eletropolimento em meio ácido (H₂SO₄ 80%);
- Passivação (HNO₃ 20%) – imersão rápida;
- Secagem em corrente de ar quente;
- Pesagem

OBS: Entre cada etapa o eletrodo de trabalho foi lavado com água deionizada.

4.1.1 Condições operacionais do eletropolimento:

- Temperatura de operação.....50-55 °C
- Densidade de corrente.....5,0; 8,5 e 12 A dm⁻²
- Cátodo/Ânodo.....aço inoxidável
- Agitação anódica.....30 rpm
- Carga..... 240 C

4.2 Ensaios de corrosão

Os ensaios eletroquímicos de corrosão foram feitos em meio de H₂SO₄ 2 M, utilizando uma célula eletroquímica convencional composta de três eletrodos: calomelano saturado (Hg/Hg₂Cl₂), como eletrodo de referência, placa de platina, como contra eletrodo, e um eletrodo do aço inoxidável eletropolido, para cada caso, como eletrodo de trabalho.

A avaliação da resistência à corrosão foi feita utilizando-se um postentostato/galvanostato Autolab PG STATE 30, empregando-se as técnicas de PPL e EIE. Para a coleta dos dados e tratamento dos resultados foi utilizado um computador com *software* FRA2 para EIE e GPES para as medida de PPL. As curvas de PPL foram obtidas com uma taxa de varredura de $1 \text{ mV}\cdot\text{s}^{-1}$ e os valores de potencial de corrosão e de resistência de polarização foram obtidos diretamente das curvas.

4.3 Microscopia

As análises morfológicas superficiais foram feitas com amostras submetidas ao processo de eletropolimento e também em amostras em condição natural. Nestes experimentos foi utilizado um microscópio metalográfico quimis, modelo XJP-6 com câmera (MC-D1300) de captura utilizando software Micro Image Analyses Software.

4.4 Composição do Aço

A análise da composição do aço foi feito por Energia Dispersiva de Raios-X (EDX), utilizando-se um espectrômetro Shimadzu, modelo 720.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente foi feita uma análise por EDX nas amostras a serem avaliadas para confirmar a composição/classificação do aço inoxidável a ser estudado. A tabela 01 mostra o resultado obtido:

Tabela 01: Composição do aço inoxidável AISI 304

Metal	Composição (%)
Ferro	71,531
Cromo	18,530
Níquel	7,643
Outros Elementos	2,296

5.1 Eletropolimento

O eletropolimento foi feito em uma célula eletrolítica termostatzada, com capacidade para 100 mL, e conduzido em modo galvanostático e com corrente contínua, sendo o eletrodo de trabalho (ânodo) e auxiliar (cátodo) o aço inoxidável AISI 304. O ânodo na forma de uma chapa plana e o cátodo com formato cilíndrico. A disposição dos eletrodos na célula foi feita de modo que, durante o eletropolimento, o eletrodo de trabalho estivesse centralizado no interior do cátodo, sem contato com o mesmo. Os experimentos foram feitos aplicando-se densidades de corrente de 400, 680 e 960 mAcm⁻² e mantendo uma carga fixa de 240 C. Após o eletropolimento foi observado que os eletrodos de trabalho apresentavam um aspecto visual semibrilhante. Observou-se ainda uma significativa melhoria na uniformidade dos acabamentos em amostras obtidas em densidade de corrente mais elevada, embora estas apresentassem um aspecto mais fosco.

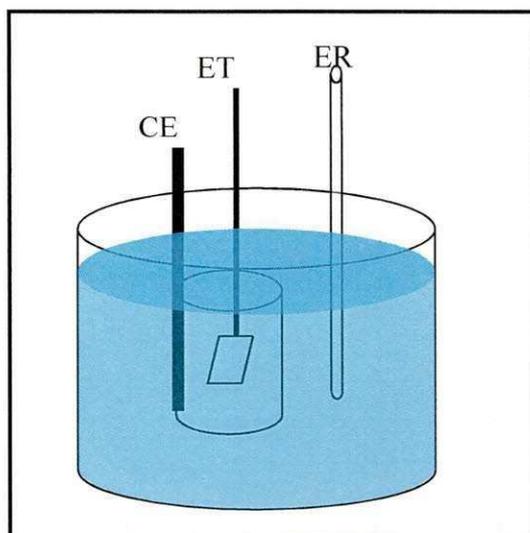


Figura 03: Esquema da célula eletroquímica utilizada no eletropolimento

5.2 Ensaio de corrosão

5.2.1 Polarização potenciodinâmica linear (PPL)

Os ensaios de corrosão foram feitos em temperatura ambiente, em meio de H_2SO_4 2M e em duplicata. Foram avaliadas amostras submetidas ao processo de eletropolimento nas diferentes condições de densidades de corrente, bem como amostras em seu estado “natural”, no intuito de avaliar comparativamente a influência dos tratamentos sobre a resistência à corrosão das mesmas.

A figura 04 mostra a curva de PPL obtida de amostras do aço inoxidável AISI 304 que não foram submetidas à eletropolimento. Nesta curva há uma indicação de passivação, sendo que naturalmente essa película é tão fina que quase não é observada. Esse resultado já era esperado, uma vez que no meio estudado este comportamento é típico para aços inoxidáveis em seu estado natural. Na figura 05 observa-se uma indicação de leve dissolução dos componentes da liga na região anódica sendo possivelmente mais efetiva para Ni e Fe com um ligeiro enriquecimento de cromo superficial e tendência de formação de camada passiva. Na figura 06 observa-se a indicação de uma dissolução mais significativa dos componentes Ni e Fe e exposição de uma superfície muito rica em cromo, com uma formação de filme passivo constatado pela intensa queda de corrente com o aumento de potencial entre aproximadamente 0,0 a 0,2 V. Na figura 07 observa-se que a formação do filme passivo é mantida com a variação do potencial. Através desses resultados observou-se que todas as

amostras apresentam a formação de filmes de passivação sendo que mais acentuada para amostras submetidas à eletropolimento. Portanto os resultados demonstram claramente que o processo de eletropolimento é eficaz para proporcionar a formação de filmes de passivação dos aços inoxidáveis. Mostram ainda que nas condições estudadas as amostras processadas em densidades de correntes mais elevadas apresentam uma maior exposição superficial de cromo e conseqüentemente apresentam filmes de passivação mais efetivos na proteção contra à corrosão nestes materiais.

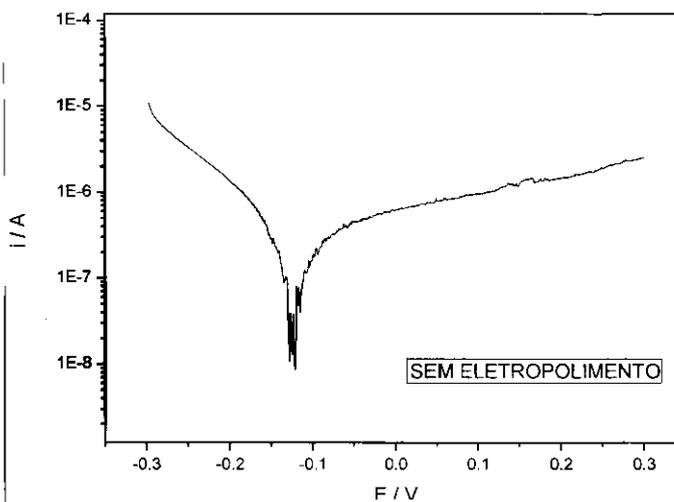


Figura 04 – Curva de polarização para o aço inoxidável AISI 304 sem tratamento

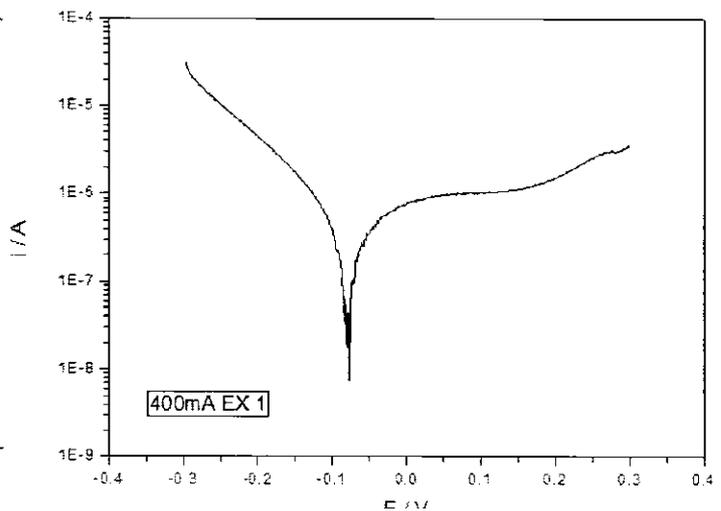


Figura 05 – Curva de polarização para o aço inoxidável AISI 304 com densidade de corrente de 400 mA/cm²

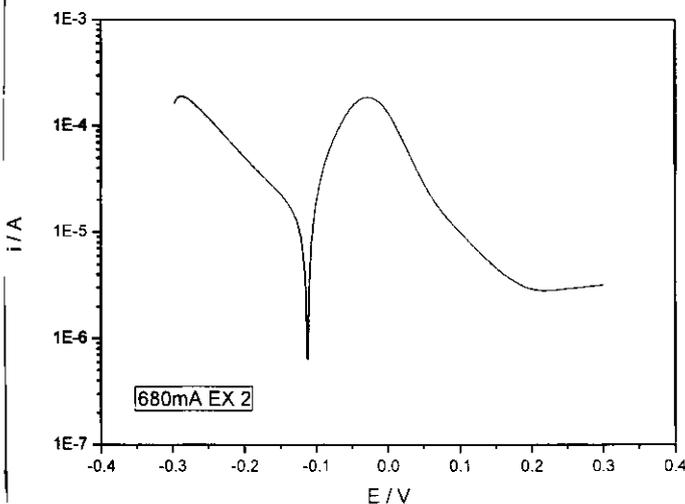


Figura 06 – Curva de polarização para o aço inoxidável AISI 304 com densidade de corrente de 680 mA/cm²

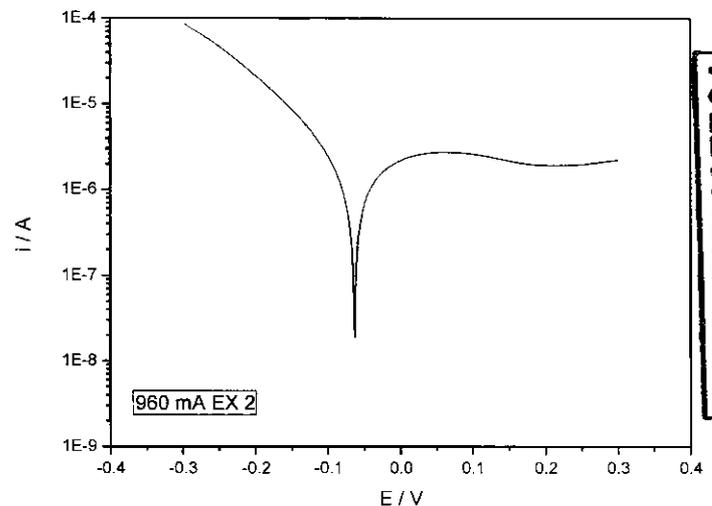


Figura 07 – Curva de polarização para o aço inoxidável AISI 304 com densidade de corrente de 960 mA/cm²

A tabela 2 mostra os valores de potencial de corrosão para as quatro amostras, com potencias mais positivos para densidade de corrente de 960 mAcm^{-2} e corrente de dissolução na faixa de 10^{-6} A . Observa-se que os potenciais de corrosão se mantiveram constantes com a variação da densidade de corrente.

Tabela 2: Resultados das análises de corrosão por PLP

	Sem eletropolimento	400 mAcm^{-2}	680 mAcm^{-2}	960 mAcm^{-2}
$E_{\text{corr}} \text{ (V)}$	-0,12	-0,007	-0,113	-0,063
$I \text{ (A)}$	10^{-6}	10^{-6}	7×10^{-4} 1×10^{-5}	7×10^{-6}

5.2.2 Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE)

Experimentos de espectroscopia de impedância eletroquímica foram feitos no intuito de confirmar os resultados obtidos nas curvas de PPL. As figuras 08 a 11 mostram os diagramas obtidos. Os resultados mostram que a impedância total aumenta significativamente para as amostras processadas com densidades de corrente mais elevada. Esse resultado demonstra a eficácia do filme de passivação formado no processo de eletropolimento, também indica uma maior resistência à corrosão e está em conformidade com os resultados obtidos anteriormente.

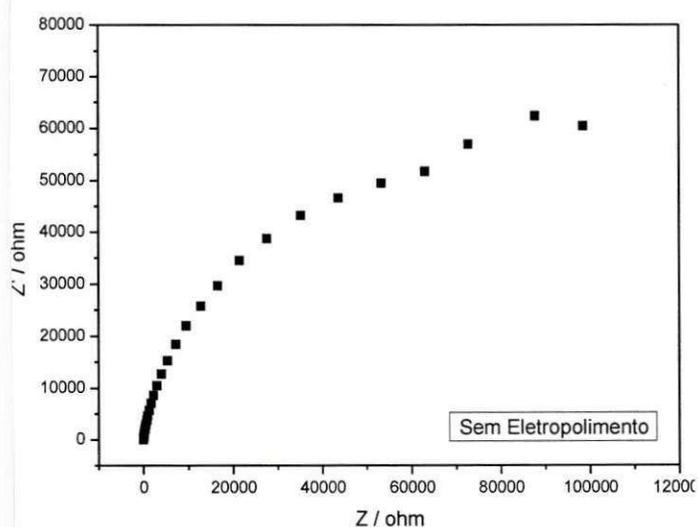


Figura 08 – Curva de impedância para o aço inoxidável AISI 304 – sem eletropolimento

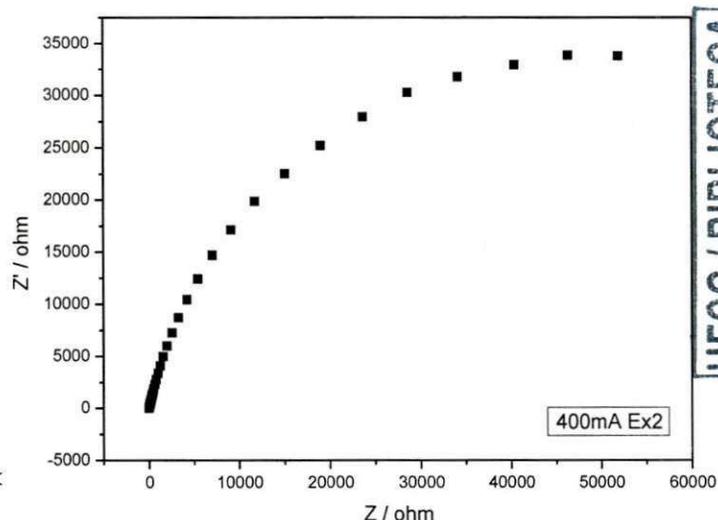


Figura 09 – Curva de impedância para o aço inoxidável AISI 304 com densidade de corrente de 400 mA/cm^2

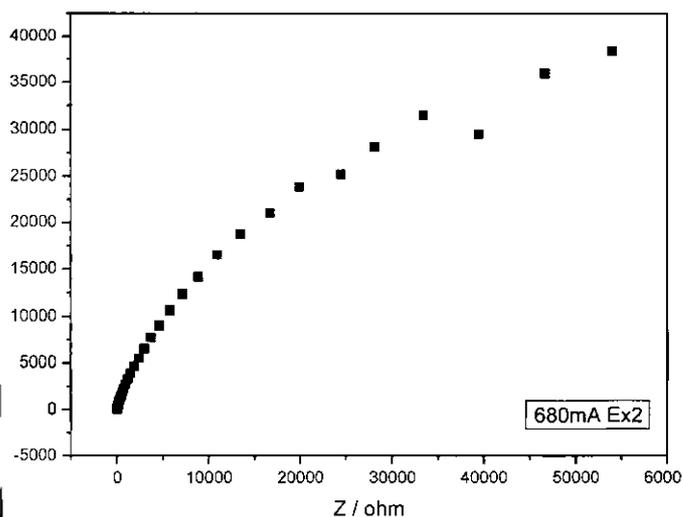


Figura 10 – Curva de impedância para o aço inoxidável AISI 304 com densidade de corrente de 680 mA/cm²

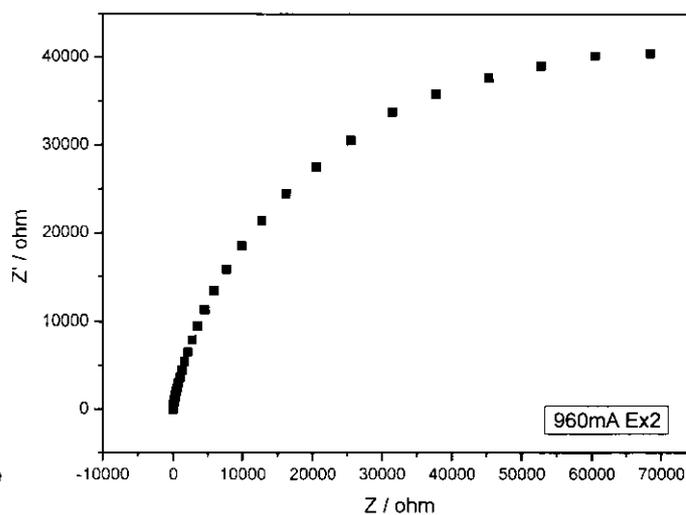


Figura 11 – Curva de impedância para o aço inoxidável AISI 304 com densidade de corrente de 960 mA/cm²

A tabela 3 mostra os valores da resistência a polarização de impedância eletroquímica para as amostras e foi observado que a resistência aumentava quando se aplicava correntes mais altas. Todas as análises foram feitas em duplicatas.

Tabela 03: Resultados das Análises de Resistências a Polarização pó EIE

	Sem eletropolimento	400 mAcm ⁻²	680 mAcm ⁻²	960 mAcm ⁻²
Rp ohm	1,429x10 ⁵	8,626x10 ⁴	9,596x10 ⁴	1,073x10 ⁵

5.3 Micrografias

A figura 12 é uma micrografia superficial obtida do aço AISI 304 na condição natural e as figuras 13, 14 e 15 são micrografias superficiais das amostras submetidas ao processo de eletropolimento, utilizando-se respectivamente densidades de corrente de 400, 680 e 960 mA cm⁻². A figura 12 mostra uma superfície homogênea isenta de defeitos. As figuras 13, 14 e 15 mostram claramente o efeito do eletropolimento sobre a estrutura do material e exibem regiões nodulares mais claras. Constata-se uma maior uniformidade e um ataque mais pronunciado nas amostras processadas utilizando-se densidades de corrente mais elevadas, estas apresentam-se mais homogêneas e com o aspecto nodular em toda a extensão. Estes resultados estão de acordo com as observações feitas visualmente.

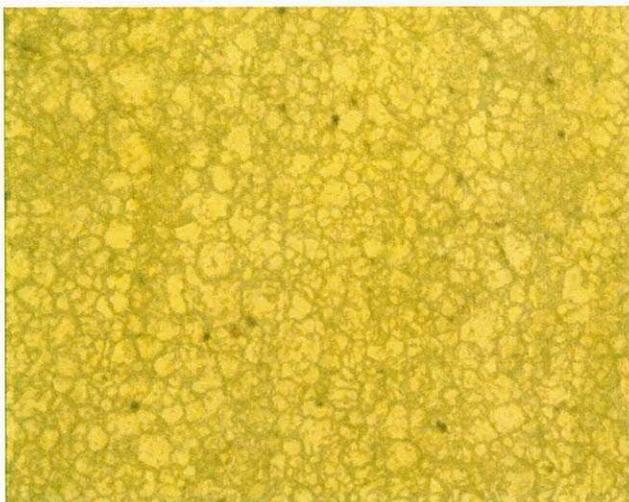


Figura 12 – Micrografia do aço inoxidável AISI 304
– sem eletropolimento

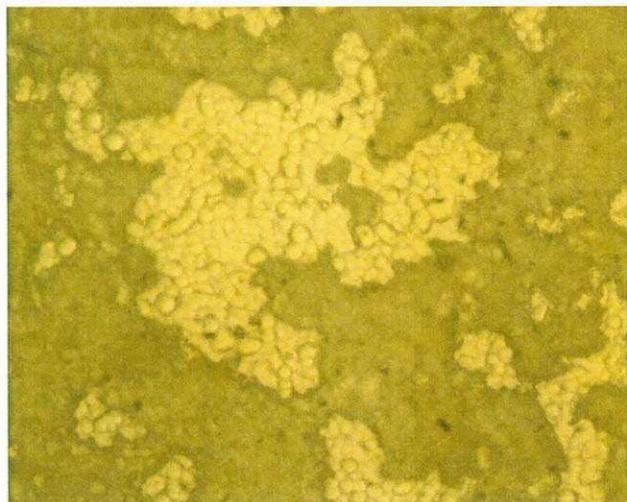


Figura 13 – Micrografia do aço inoxidável AISI 304 com
densidade de corrente de 400 mA/cm²

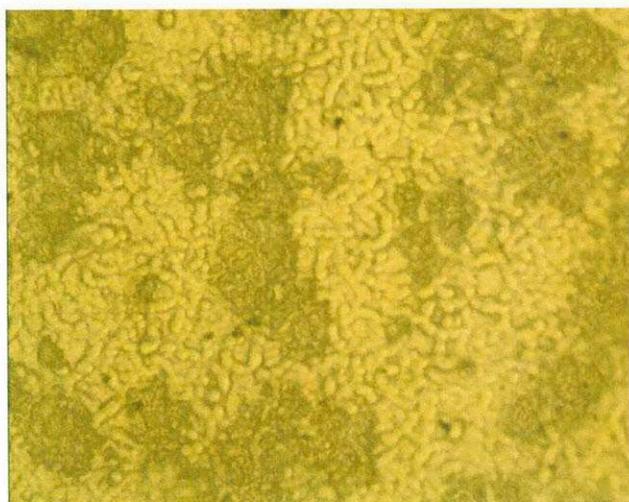


Figura 14 – Micrografia do aço inoxidável AISI 304 com
densidade de corrente de 680 mA/cm²

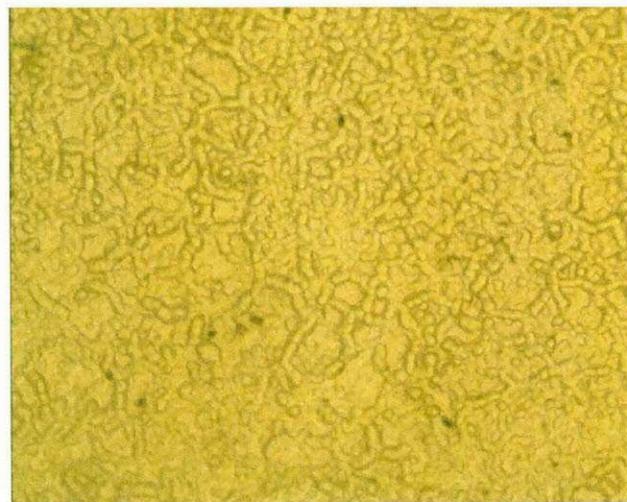


Figura 15 – Micrografia do aço inoxidável AISI 304 com
densidade de corrente de 960 mA/cm²

6. CONCLUSÕES

O processo de eletropolimento permitiu a obtenção de superfícies de aço AISI 304 semibrilhantes e homogêneas em toda a extensão das amostras. Uma melhor homogeneidade foi conseguida com o aumento da densidade de corrente. Estes resultados são demonstrados pela análise visual e microscópica superficial das amostras.

Os ensaios eletroquímicos de corrosão por PPL e EIE mostraram que as amostras submetidas a eletropolimento apresentam maior resistência à corrosão que as amostras em estado natural. Os resultados indicam que a técnica foi eficiente para aumentar a resistência à corrosão pela formação de um filme de passivação rico em cromo. Assim, nas condições estabelecidas para este estudo, admitiu-se que os metais ferro e níquel são mais facilmente removidos da estrutura do aço inoxidável pela corrente reversa (anódica) do que o cromo.

Em termos gerais pode-se concluir que o processo de eletropolimento pode ser aprimorado em termos de procedimentos e parâmetros operacionais para a obtenção de superfícies passivas homogêneas. Adicionalmente, presença de outros elementos nos aços inoxidáveis pode atrapalhar a formação da camada passiva ou comprometer sua eficácia.

O eletropolimento de fato constitui-se em um importante processo tecnológico que pode ser aplicado para remoção de óxidos indesejados, melhorar a aparência e para promover a formação de uma camada de óxidos de cromo estável e homogênea.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, L. S.; XAVIER, S. C.; FILHO, R. C. R.; BOCCHI, N; BIAGGIO, S. R.; **Electropolishing of AISI-304 stainless steel using an oxidizing solution originally used for electrochemical coloration.** *Electrochimica Acta* 50 2623–2627 (2005).

AWAD, A.M.; GHAZY, E.A.; ABO EL-ENIN, S.A.; MAHMOUD, M.G.; **Electropolishing of AISI-304 stainless steel for protection against SRB biofilm.** *Surface & Coatings Technology* 206 3165–3172 (2012).

CARBÓ, Héctor. Mario; **Aço Inoxidável, Aplicações e Especificação.** Acesita, 2001.

COMPANHIA DE AÇOS ESPECIAIS ITABIRA – Divisão de Metalurgia, **Aspectos Metalúrgicos da Fabricação dos Aços Inoxidáveis:** relatório interno, Acesita, 1989.

Disponível em: http://grupohumma.com.br/web/biblioteca/guia_do_eletropolimento.pdf. **Acessado em:** 10/08/2012.

FILHO, Valdir. Luiz. Foldra; **Acabamentos dos aços inoxidáveis.** Acesita, 1997.

GEMELLI, E.. **Corrosão de materiais metálicos e sua caracterização.** Rio de Janeiro: LTC, 2001, p. 5-37.

GENTIL, V.. **Corrosão.** Rio de Janeiro: LTC , 1996. p. 01-55.

LESLIE, W. C. **The Physical Metallurgy of Steels.** Mc Graw-Hill, 396 p. LIMA, N. B.: **Influência da Textura em Medidas de Tensão Residual,** São Paulo, 1991.

LIN, Chi-Cheng; HU, Chi-Chang; LEE, Tai-Chou; **Electropolishing of 304 stainless steel: Interactive effects of glycerol content, bath temperature, and current density on surface roughness and morphology.** *Surface & Coatings Technology* 204 448–454 (2009).

MELO, M. J.; CORREA, O. V.; KUNIOSHI, C. T. **Estudo do Processo de Eletropolimento de Tubos de Aço Inoxidável AISI 348L.** Encontro e Exposição Brasileira de tratamento de superfície III INTERFINISH Latino Americano, São Paulo – SP, 2012.

Morellato, Fawler. **A influência da passivação no desempenho de componentes e equipamentos de aços inoxidáveis na indústria de processo de alta pureza.**

Sanches, Leonardo Paiva; **Estudo comparativo quanto a resistência a corrosão entre aços inoxidáveis utilizados em trocadores de calor.** Trabalho de monografia, Rio de Janeiro, 2009.

S.E. Ziemniak, M. Hanson, **Electropolishing effects on Corrosion behavior of 304 stainless steel in high temperature, hydrogenated water,** *Corrosion Science* 50 2465–2477 (2008).

SIMÕES, Maurício Silva; CASTRO, Ana Luiza Resende and ANDRADE, Margareth Spangler. **Atrito interno em aços inoxidáveis austeníticos contendo cobre.** *Rem: Rev. Esc. Minas* [online]. 2010, vol.63, n.1, pp. 51-55. ISSN 0370-4467.

SU, Yea-Yang; SHIH, Chun-Che; CHEN, Lung-Ching; SHIH, Chun-Ming; LIN, Shing-Jong; **Characterization of oxide structures on stainless steel sternal wires by electrochemical reduction**. Applied Surface Science 258 2869– 2875 (2012).

WOLYNEC S. **Técnicas eletroquímicas em corrosão**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2003.

UFCC / BIBLIOTECA