

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

ANDRÉ HERMAN

**PROPOSTA DE DETECÇÃO DE CORROSÃO E FRATURAS EM
ESTRUTURAS AERONÁUTICAS**

**Taubaté - SP
2016**

ANDRÉ HERMAN

**PROPOSTA DE DETECÇÃO DE CORROSÃO E FRATURAS EM
ESTRUTURAS AERONÁUTICAS**

Monografia apresentada para obtenção do
Certificado de Especialização do curso de pós-
graduação de Engenharia em Aeronáutica da
UNITAU – Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof. Dr. Evandro Luis Nohara

Ficha catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU – Biblioteca das Engenharias

H551p Herman, André
Proposta de detecção de corrosão e fraturas em estruturas aeronáuticas: monitoramento de corrosão e trincas. / André Magueta Herman - 2016.

58.: il; 30 cm.

Monografia (Especialização em Engenharia Aeronáutica) – Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2016

Orientador: Prof. Dr. Evandro Luis Nohara, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica.

1. Corrosão. 2. Eletroquímico. 3. Aeronáutica. I. Título.

ANDRÉ HERMAN

**PROPOSTA DE DETECÇÃO DE CORROSÃO E FRATURAS EM ESTRUTURAS
AERONÁUTICAS**

Monografia apresentada para obtenção do
Certificado de Especialização do curso de pós-
graduação de Engenharia em Aeronáutica da
UNITAU – Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof. Dr. Evandro Luis Nohara

Data:

Resultado:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Evandro Luis Nohara

Universidade de Taubaté

Prof. Dr. Giorgio Eugenio Oscare Giacaglia

Universidade de Taubaté

Agradecimentos

Dedico este trabalho primeiramente a Deus que me deu forças para conseguir chegar ao final desta empreitada e aos meus familiares por me apoiarem nesta caminhada. Agradeço também ao meu orientador Prof. Dr. Evandro Luis Nohara, por toda sua atenção e dedicação em ajudar-me e também por dividir seus conhecimentos comigo.

Resumo

A proposta apresentada faz uma análise da corrosão. Ela poderá acontecer em qualquer liga metálica, ferrosa ou não ferrosa, pode ser mecânica ou eletroquímica. Traz prejuízos altíssimos em todo o mundo e em diferentes ambientes, alguns com mais agentes corrosivos, e outros menos severos, mas a corrosão estará presente em todos os lugares. O presente trabalho apresenta as principais formas e tipos de corrosão, os principais métodos de detecção de corrosão e propõe um método novo para detectá-la. Neste foi desenvolvido um circuito onde a aplicação pode ser efetuada em diversas áreas, mas principalmente em ambientes fechados e de difícil acesso, para que o perigo de acidentes graves possa ser minimizado. O circuito usa como parte fundamental a resistência à passagem de corrente elétrica (Ohm). Quando a corrosão ataca determinada peça há perda de massa deste material, fazendo com que sua resistência aumente, mostrando um possível ataque de corrosão, sabendo também que as fissuras ou trincas em uma peça acarreta também em uma diminuição de seção, esse tipo de problema também poderá ser captado pelo dispositivo.

Palavras-chave: Eletroquímico. Corrosão. Aeronáutica.

Abstract

The proposal presented analyzes the corrosion. It can happen on any metal, ferrous or non-ferrous alloy, can be mechanical or electrochemical. There are high losses around the world and in different environments, some with more corrosive agents, and other less severe, but the corrosion will be present everywhere. This paper presents the main forms and types of corrosion, the main methods of corrosion detection and proposes a new method to detect it. This developed a circuit where the application can be made in several areas, but mostly indoors and difficult to access, so that the danger of severe accidents can be minimized. The circuit uses as a fundamental part the resistance to the passage of electric current (Ohm). When corrosion attacks a particular piece there is loss of mass of the material, causing its resistance to increase, showing a possible corrosion attack, knowing as well that the fissures or cracks in a piece also leads to a decrease of section, this type of problem also can be captured by the device.

Keywords: Electrochemical. Corrosion. Aeronautic.

Lista de Ilustrações

Figura 1 - Cúbico de face centrada.....	15
Figura 2 - Cúbico de corpo centrado	15
Figura 3 - Abrasão	17
Figura 4 - Cavitação	17
Figura 5 - Corrosão uniforme.....	19
Figura 6 - Pites	20
Figura 7 - Corrosão em Frestas.....	21
Figura 8 - Filiforme	22
Figura 9 - Galvânica.....	23
Figura 10 - Sob tensão	24
Figura 11 - Gráfico de teste diminuição de seção.....	40
Figura 12 - Circuito ohmímetro.....	46
Figura 13 - Circuito ohmímetro com módulo ZigBee.....	47
Figura 14 - Fraturas.....	49
Figura 15 - Barra de anodo de sacrifício.....	53
Figura 16 - Imagens: Tipos de Corrosão.....	54

Sumário

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Motivação (problema).....	12
1.2 Objetivos.....	12
Objetivo geral.....	12
Objetivos específicos.....	12
1.3 Conclusão.....	13
1.4 Justificativa.....	14
2 ESTRUTURA MOLECULAR.....	15
3 CORROSÃO.....	16
SUB GRUPO DE CORROSÃO.....	17
3.1 Cavitação.....	17
3.2 Abrasão.....	17
3.3 FORMAS DE CORROSÃO.....	18
3.3.1 Corrosão uniforme.....	19
3.3.2 Corrosão pites.....	20
3.3.3 Corrosão em frestas.....	21
3.3.4 Corrosão filiforme.....	22
3.3.5 Corrosão galvânica.....	23
3.3.6 Corrosão sob tensão.....	24
3.3.7 Corrosão seletiva.....	25
3.3.8 Corrosão por grafítica.....	25
3.3.9 Corrosão por dezincificação.....	26
3.3.10 Corrosão associada ao escoamento de fluidos.....	27
3.3.11 Corrosão-erosão.....	28
3.3.12 Corrosão com cavitação.....	29
3.3.13 Corrosão por turbulência ou impigimento.....	30
3.4 FORMAS DE CORROSÃO.....	30
3.4.1 Corrosão por placas.....	30
3.4.2 Corrosão alveolar.....	30
3.4.3 Corrosão intergranular ou intercrystalina.....	31
3.4.4 Corrosão transgranular ou transcristalina.....	31
4 ANALISANDO AS FORMAS E TIPOS DE CORROSÃO.....	32
5 TIPOS DE DETECÇÃO DE CORROSÃO.....	33
5.1 Líquidos penetrantes.....	33
5.2 Radiografia.....	34
5.3 Ultrassônico.....	35
5.4 <i>Eddy Current</i>	37
5.5 Partículas magnéticas.....	38
5.6 Diminuição de seção.....	39

5.6.1 Teste no aumento da resistência na diminuição de seção	39
6 ANÁLISE DOS DETECTORES DE CORROSÃO	42
6.1 Líquidos penetrantes	42
6.2 Radiografia	42
6.3 Ultrassônico	42
6.4 <i>Eddy current</i>	43
6.5 Partículas magnéticas	43
6.6 Diminuição de seção	43
7 METODOLOGIA – MÉTODO DEDUTIVO	44
7.1 Circuito de medição de corrosão	44
8 CIRCUITO PARA MONITORAMENTO DE FRATURAS EM MATÉRIAS COMPOSTOS	48
9 ACIDENTE AERONÁUTICO DECORRENTE DE TRINCA SEM TRATAMENTO	49
10 ALGUNS EXEMPLOS DE APLICAÇÃO	51
10.1 Fraturas e rompimentos em estruturas metálicas	51
10.2 Inspeção em cabos de transmissão de alta tensão	51
10.3 Barra de anodo de sacrifício	52
11 CONCLUSÃO	55
12 REFERÊNCIAS	56

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho apresenta dados e informações sobre a importância dos estudos e pesquisas para a localização de corrosão e fraturas em estruturas.

Com a globalização cada vez mais evidente no mundo, os metais e materiais compostos estão sendo usados em escalas nunca antes vista, por este motivo necessitamos que todos os possíveis problemas estruturais sejam identificados antes mesmo que eles aconteçam. Exemplo, as estruturas em metais que se rompem devido a ação da corrosão e assim evitam prejuízos maiores, como, perdas de vidas.

Dados informam que *“A corrosão acarreta prejuízos de 1,5% a 3,5% no PIB de um país e que 20% de todo o ferro produzido no mundo é utilizado para repor ou substituir o metal alterado por esta transformação. O dano ocasionado pela corrosão não é apenas financeiro, pois sua instalação ocasiona riscos à vida, tornando-se um fator de grande relevância à Biossegurança”*.

(Fonte: Prof. Dr. Haroldo De Araujo Ponte, 2003).

A presente pesquisa, mostrará as estruturas moleculares e uma explicação sobre a corrosão, suas formas e tipos e uma análise para identificação de uma característica principal. Será apresentada também uma análise de todos os detectores, para saber se esses detectores serão aptos para atender a característica principal da corrosão achada e por fim, a elaboração de um projeto com custo benefício acessível para que o circuito seja fixado no lugar, ou seja usado para leituras pontuais.

Para o monitoramento em materiais compostos, onde não existe a corrosão, será elaborado um circuito para a identificação de trincas e fraturas.

1.1 Motivação (Problema)

A corrosão refere-se à deterioração de materiais sob a ação química ou eletroquímica do meio e sob a influência ou não de esforços mecânicos. Este assunto prioriza principalmente a questão da segurança nas empresas. A corrosão é uma das principais causas de falhas e de necessidades de manutenção em equipamentos industriais como vasos de pressão, trocadores de calor, tubulações e outros.

Falhas deste tipo geram paradas não programadas, perda de produção, elevados custos com manutenção e aumento dos riscos ambientais e de segurança operacional. Sendo assim, estratégias de inspeção e de monitoração da corrosão são fundamentais para determinar as condições de sistemas como estes e definir as ações de controle da corrosão.

1.2 Objetivos

Objetivo geral

Elaborar um estudo de caso e posteriormente elaborar um projeto para supervisão e monitoramento ou medição do nível de corrosão e fraturas em materiais metálicos ou compostos.

Objetivos específicos

- a) Elaborar uma pesquisa dos tipos de corrosão existentes.
- b) Analisar as principais formas de corrosão.
- c) Definir uma característica presente em todos os tipos e formas de corrosão.

- d) Determinar os métodos conhecidos hoje na detecção de corrosão, analisar se algum método evolui a característica fundamental, a fim de reduzir custos e elaborar um projeto para a detecção da corrosão.
 - e) Em materiais compostos elaborar um circuito para o monitoramento de trincas e fraturas.
- Conclusões

1.3 Conclusões

Através das pesquisas realizadas para a execução deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) percebe-se que a corrosão e trincas podem e vão acontecer em todos os metais, metálicos ou não. Pode-se observar que a corrosão e trincas estará em lugares onde nem imaginamos ou mesmo suspeitamos, e é por conta disso que elas tornam-se tão perigosas e sorrateiras, tentando destruir a todo momento o que o homem construiu. Pode-se evitar de todas as formas, porém a corrosão sempre vai achar um meio de degradar os materiais, tentando voltar ao seu estado mais natural, o minério.

Com as informações adquiridas nesta pesquisa pude desenvolver um circuito para a identificação da corrosão pela diminuição de seção e trincas para metais e materiais compostos. Os circuitos foram elaborados para identificar mudanças na resistência ôhmica e mostrar essas diferenças, com uma comparação entre o estado sem corrosão até estar em estado corroído.

Pode-se identificar uma corrosão e trincas em algumas peças ou parte estrutural onde não se tem acesso ou lugares de difícil acesso, o circuito mostrou-se favorável neste tipo de detecção pois não necessita de uma preparação prévia para a medição. O circuito mostra-se ainda mais favorável em ambientes marinhos onde a corrosão torna-se mais acentuado e um controle da corrosão torna-se e extremamente importante.

1.4 Justificativa

O presente estudo tem, a finalidade de analisar as estruturas moleculares e as principais formas de corrosão existentes, para entender seu surgimento, ação e evolução sobre diferentes exemplos de ligas metálicas, analisar os principais métodos de inspeção conhecidos hoje e então desenvolver um modo de inspecionar ou supervisionar de forma contínua a corrosão, trincas e fraturas em ambientes fechados e de difícil acesso ou uma medição momentânea, com a finalidade de prevenir acidentes, gastos desnecessários, acompanhamento em pontos críticos, entre outros.

2. ESTRUTURA MOLECULAR

O conhecimento da estrutura molecular do metal estudado, possibilita caracterizar sua pré-disposição a corrosão. Todos os metais tem uma estrutura cristalina ou estruturas de metais cristalinos, atualmente existem 16 estruturas conhecidas, mas serão mencionadas apenas duas a título de exemplo, sendo elas: a estrutura cúbica de face centrada (CFC), apresentada na "Figura 1", e a cúbica de corpo centrado (CCC) apresentado na "Figura 2".

Ao analisarmos o número de moléculas em cada estrutura, podemos dizer que a CFC terá uma maior resistência à corrosão, mas devemos considerar também as impurezas adicionadas ao material analisado, as quais possibilitam ou não, o aumento de sua resistência à corrosão e a outros eventos.

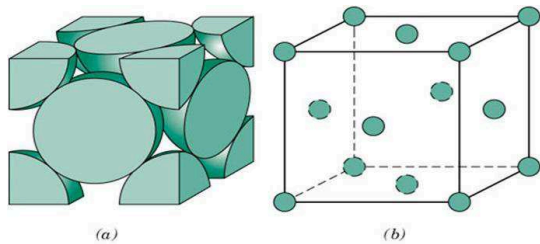


Figura 1: Cúbico de face centrada
(Fonte: Dehitt)

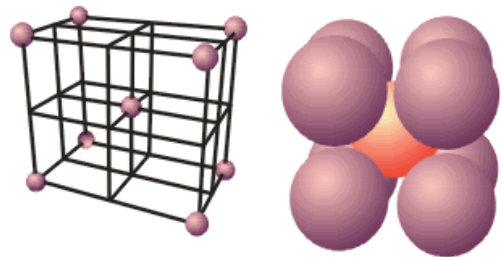


Figura 2: Cúbico de corpo centrado
(Fonte: Cimm)

3. CORROSÃO

A corrosão pode ser entendida como uma tendência natural do material retornar a sua condição original mais estável, no caso dos metais, na forma de minério. Sendo assim, esse processo físico-químico também conhecido como processo de oxidação, é intrínseco aos metais, ocorrendo de forma espontânea e contínua, com velocidade e intensidade determinadas principalmente pela interação entre o metal e o meio ambiente (umidade, temperatura, poluição atmosférica, entre outros).

Como principais meios corrosivos e seus respectivos eletrólitos na atmosfera, tem-se:

- Ar: contém umidade, sais em suspensão, gases industriais, poluentes, poeira e etc. tem como eletrólito a água que condensa na superfície metálica na presença de sais ou gases presentes no ambiente;
- Solos: contêm umidade, sais minerais e bactérias, apresentando em alguns casos características ácidas ou básicas, e eletrólito constituído principalmente da água com sais dissolvidos;
- Águas naturais (rios, lagos e do subsolo): estas águas podem conter sais minerais, eventualmente ácidos ou bases, resíduos industriais, bactérias, poluentes diversos e gases dissolvidos, tendo como eletrólito constituinte, principalmente da água com sais dissolvidos, sendo que a presença de outros constituintes podem acelerar o processo corrosivo;
- Água do mar e maresia: estas águas contêm uma quantidade apreciável de sais. Uma análise da água do mar e maresia apresenta em média o dobro de sais minerais comparados aos outros tipos de meios corrosivos encontradas na natureza, por este motivo, este meio é potencialmente mais corrosivo do que os demais citados acima.

SUB GRUPO DE CORROSÃO

3.1 Cavitação

“Cavitação é um fenômeno originado em quedas repentinas de pressão. A combinação entre a pressão, temperatura e velocidade resulta na liberação de ondas de choque e micro jatos altamente energéticos, causando a aparição de altas tensões mecânicas e elevação da temperatura, provocando danos na superfície atingida”.

3.2 Abrasão

Desgaste abrasivo é a perda de material pela passagem de partículas rígidas sobre uma superfície ou atrito de algo mais duro que o próprio metal, como por exemplo, a areia em um metal.



Figura 3: Abrasão

(Fonte: PAMA)

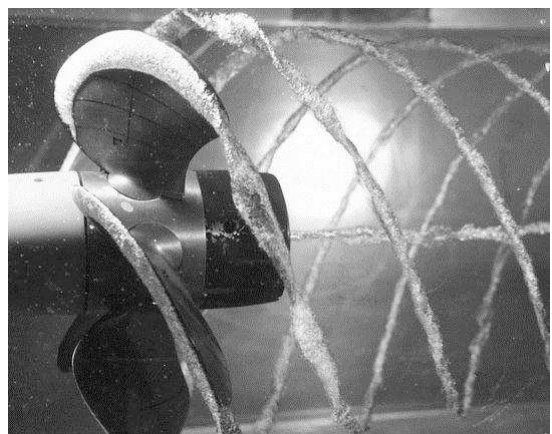


Figura 4: Cavitação

(Fonte: IPT)

3.3 FORMAS DE CORROSÃO

Existem várias formas de corrosão, tais como:

- Corrosão uniforme;
- Corrosão por pite;
- Corrosão por concentração diferencial;
- Corrosão por concentração iônica diferencial;
- Corrosão por aeração diferencial;
- Corrosão em frestas;
- Corrosão filiforme;
- Corrosão galvânica;
- Corrosão sob tensão;
- Corrosão seletiva;
- Corrosão gráfica;
- Corrosão por desincificação;
- Corrosão associada ao escoamento de fluidos;
- Corrosão-erosão;
- Corrosão por cavitação.

3.3.1 Corrosão uniforme

A corrosão processa-se em toda extensão da superfície, ocorrendo perda uniforme de espessura e é chamada por alguns, de corrosão generalizada, mas essa terminologia não deve ser usada só para corrosão uniforme, pois, pode-se ter também corrosão por pite ou alveolar generalizadas, isto é, em toda a extensão da superfície corroída.



Figura 5: Corrosão uniforme
1.3.1 (Fonte: Metálica, 2013)

3.3.2 Corrosão por pites

É aquela em que sua profundidade é maior ao seu diâmetro. A chamada corrosão por *pites* (do inglês *pit*, "poço" ou "cova") é uma forma de corrosão localizada, que consiste na formação de pequenas cavidades de profundidade considerável. É a mais importante e significativa frente à espessura do material, ocorre de forma extremamente pontual podendo, portanto ser chamada de puntiforme por não apresentar ataque ao material circundante.

Caracteriza-se por acometer materiais metálicos que apresentam formação de películas protetoras passíveis, com corrosão gerada após o rompimento desta película. Por ser uma corrosão que não implica numa homogênea redução da espessura, no corpo da peça ou no interior de equipamentos, torna-se um tipo de corrosão de acompanhamento mais difícil.

Deve-se considerar como um fator importante para o mecanismo da formação de *pites*, a existência de pontos de maior fragilidade da película passiva (defeitos em sua formação), fazendo com que o pH no interior do *pite* se altere substancialmente para o espectro ácido, dificultando a restituição da camada passiva inicial. O resultado deste processo é que a pequena área ativa anódica formada diante de uma grande área catódica provoca a corrosão localizada e intensa, já citada.

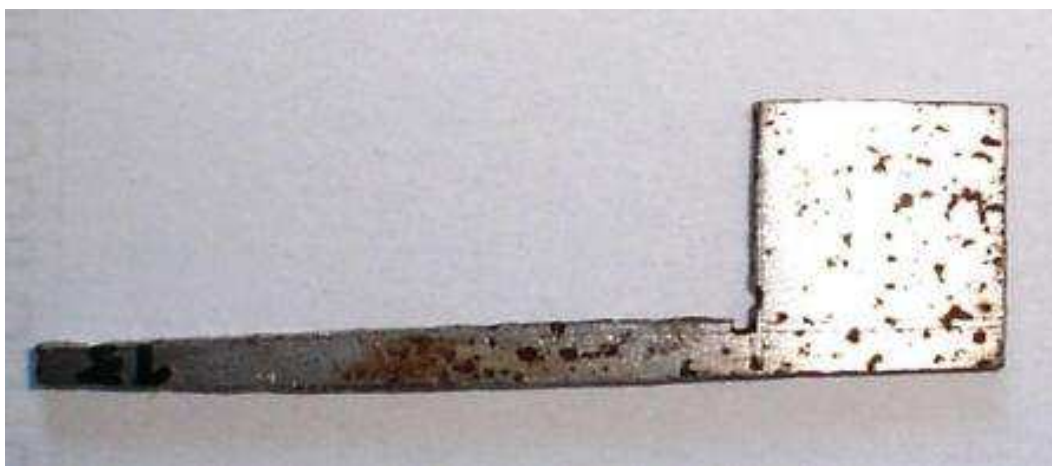


Figura 6: Pites
(Fonte: Metálica, 2013)

3.3.3 Corrosão em frestas

A ação da aeração diferencial e ou da concentração biônica diferencial produzem a formação de pilhas de impurezas em frestas de materiais metálicos. Estas frestas podem ser definidas como as ocorrentes em juntas soldadas de chapas sobrepostas, em juntas de chapas unidas por rebites, em ligações de tubulações unidas por flanges, em ligações de tubulações proporcionadas por roscas de parafusos, nos revestimentos feitos através de chapas aparafusadas e inúmeras configurações de geometrias que proporcionem a formação de frestas.

A formação de pilhas de concentração iônica diferencial é preferencial em meios líquidos e a formação de pilhas de aeração diferencial é preferencial em meios gasosos, sendo portanto, as frestas inerentes às construções por meio de metais. No projeto estas deverão ser minimizadas com o objetivo de reduzir a corrosão.

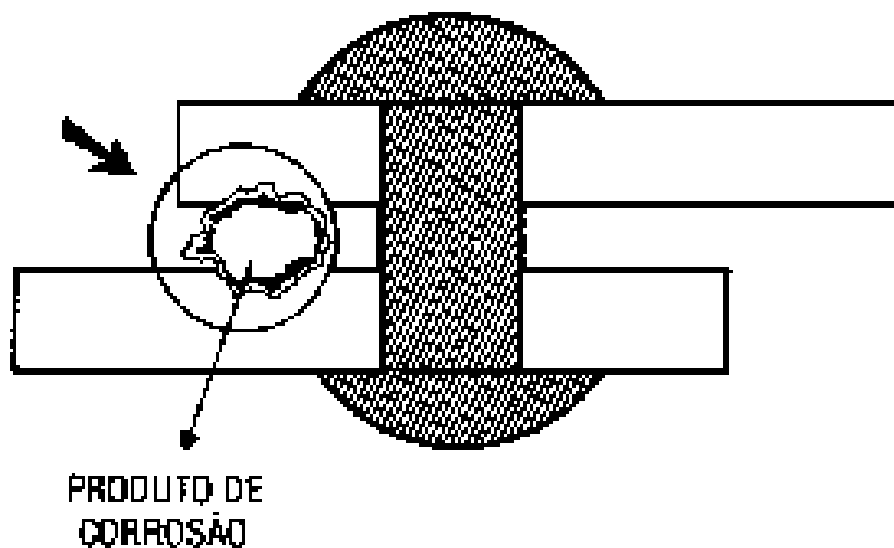


Figura 7: Corrosão em Frestas

(Fonte: Pipesystem, 2012)

3.3.4 Corrosão filiforme

Quando a corrosão se processa sob camadas de revestimento, como a pintura, ela é denominada de corrosão filiforme. Embora o mecanismo principal desta corrosão não seja completamente entendido, atribui-se a ela os mesmos mecanismos da corrosão por frestas, especialmente quando em defeitos no revestimento de aeração diferencial. Esta corrosão processa-se tipicamente nas bordas da superfície do material, progredindo por filamentos que curiosamente apresentam reflexões de mesmo ângulo do de incidência quando encontram obstáculos.

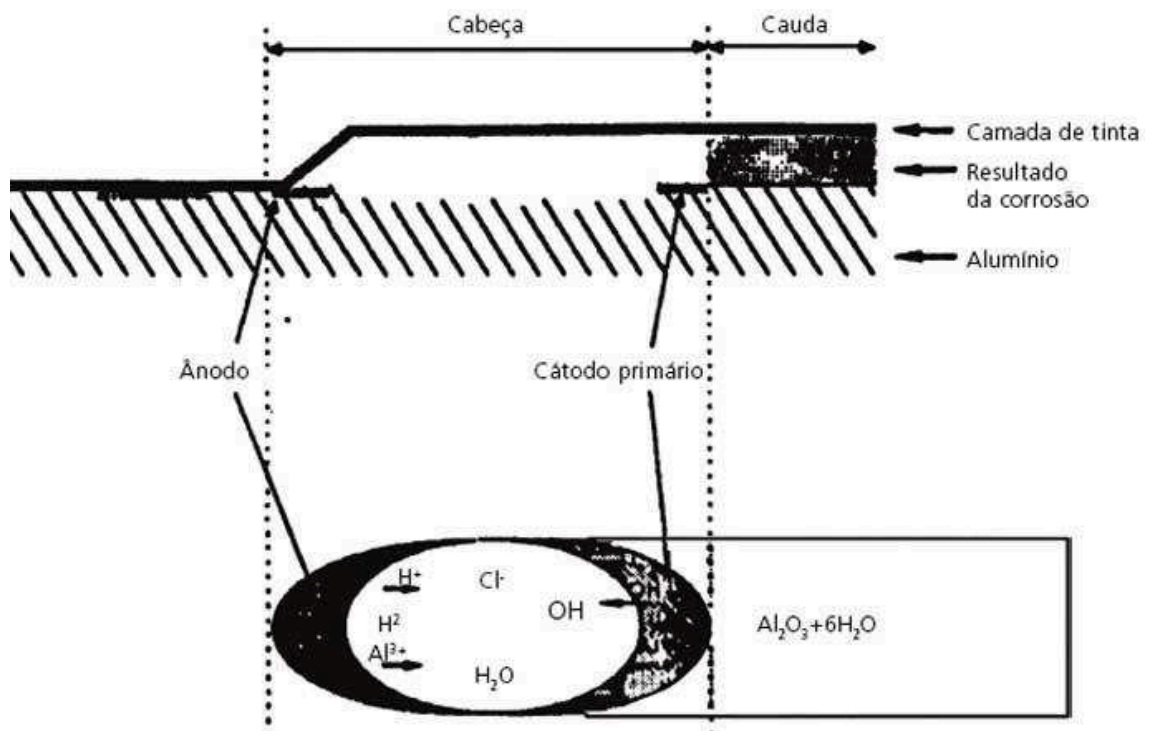


Figura 8: Filiforme
(Fonte: Pipesystem, 2012)

3.3.5 Corrosão galvânica

O contato elétrico entre materiais diferentes resulta no processo corrosivo conhecido como corrosão galvânica. A intensidade deste tipo de corrosão será proporcional à distância entre os valores dos materiais envolvidos na tabela de potenciais eletroquímicos, em outras palavras, na "nobreza" dos materiais. Exerce influência neste tipo de corrosão a proporcionalidade entre as áreas anódica e catódica. Tal proporção deverá ser o menor possível com vistas a se obter a mínima corrosão na área anódica aliada a sua uniformidade.

A presença de íons metálicos no eletrólito é um fator importante nesta corrosão, no caso dos íons no eletrólito serem mais catódicos que os materiais com os quais possam ter contato, haverá corrosão devido a reações de troca entre o metal e os cátions dissolvidos, com consequente oxidação do metal da estrutura em questão. É um exemplo comum a reação da solução de um sal de cobre como eletrólito, a qual contém íons Cu^{2+} em contato com metais ferrosos, como por exemplo, o aço: $\text{Fe} + \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{Cu} \downarrow$.

Reação que resulta na corrosão do ferro da liga ferrosa (o qual é oxidado) e a deposição (por redução) do cobre. Como um exemplo mais completo da reação acima, podemos citar a reação de solução de sulfato de cobre (II) com uma liga ferrosa: $\text{Fe} + \text{CuSO}_4 \rightarrow \text{Fe} + \text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + \text{Cu} \downarrow$. Como uma reação na qual seja o cobre o metal corroído, podemos citar a similar reação do nitrato de prata em solução com uma liga de cobre metálico:

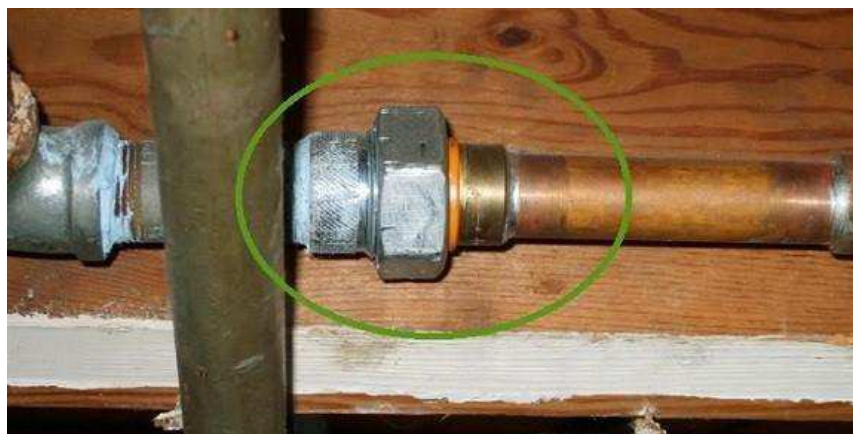


Figura 9: Galvânica

(Fonte: Manutenção e suprimentos, 2013)

3.3.6 Corrosão sob tensão

O desenvolvimento da corrosão sob tensão exige a presença simultânea de tensões de tração e fatores ambientais específicos. Isso é incomum nas atmosferas internas de um edifício. As tensões não necessitam ser muito altas em relação ao limite de escoamento do material e podem ser devidas à carga e/ ou efeitos residuais dos processos de fabricação tais como soldagem ou dobramento. Deve-se tomar cuidado quando os componentes de aço inoxidável com tensões residuais elevadas, por exemplo, devido ao trabalho no frio, são usados em ambientes ricos em cloretos, piscinas cobertas, ambiente marinho e plataforma marítima.

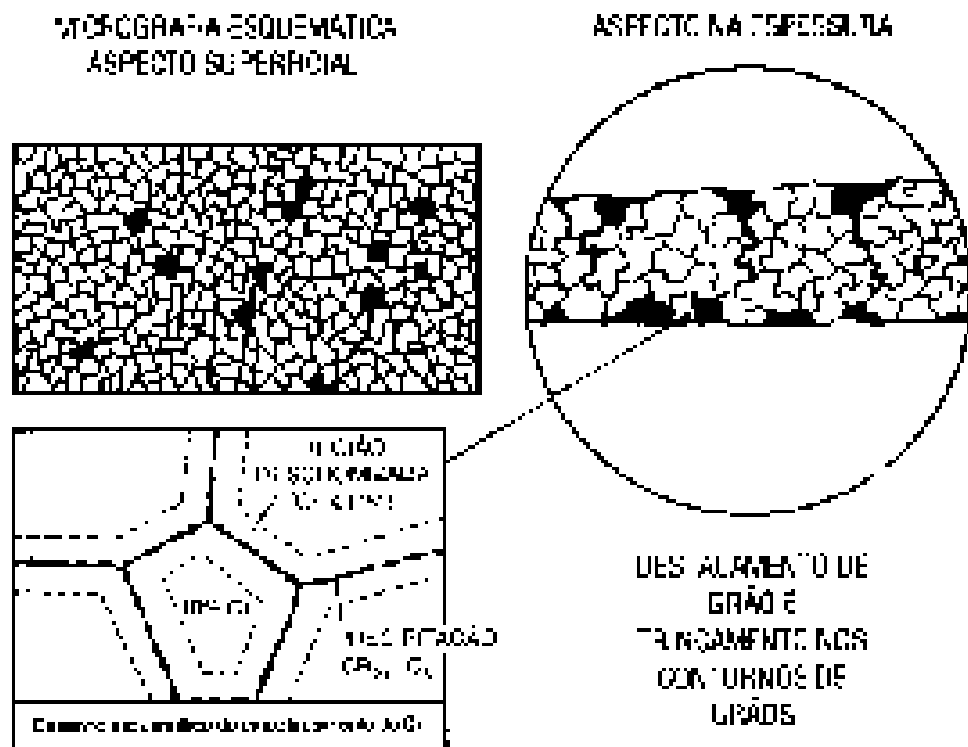


Figura 10: Sob tensão
(Fonte Pipesystem, 2013)

3.3.7 Corrosão seletiva

É chamada de corrosão seletiva o conjunto de processos corrosivos no qual haja a formação de um par galvânico produzido pela diferença significativa entre a nobreza de dois elementos constituintes de uma liga metálica.

3.3.8 Corrosão grafítica

O processo corrosivo que ocorre nos ferros fundidos cinzentos, que normalmente são usados para tubulações de água, de esgotos, em drenagem, etc. e no chamado ferro nodular, que possuem teor de grafita é denominado corrosão grafítica. Sendo a grafita muito mais catódica que o ferro, e estando este concentrado em veios ou nódulos passam a agir como cátodo, enquanto o ferro age como ânodo, propiciando a corrosão.

Este tipo de corrosão é observável em tubos de ferro fundido velhos, que com qualquer ferramenta pode ter partes de suas paredes degradadas de maneira similar a grafita.

Este tipo de corrosão não é um fator de contraindicação de tubos de ferros para usos como os citados, porque as exigências de pressões são de pouca monta, e apenas a resistência estrutural dos tubos ao seu aterramento é na verdade exigida. É usual o revestimento dos tubos para a prevenção a este tipo de corrosão, internamente com argamassa de cimento e externamente normalmente com pinturas resistentes ao solo onde serão enterrados.

3.3.9 Corrosão por dezincificação

O processo corrosivo que ocorre nas ligas de zinco, como os latões, utilizados em refradores e condensadores, (trocadores de calor), tubulações para água salgada e outras é chamada corrosão por dezincificação.

É similar ao processo de corrosão gráfitica, mas o material anódico no caso é o zinco, restando o cobre e os consequentes produtos de corrosão. É observada com mais frequência nos latões de alto teor de zinco, como o latão-alumínio (76% Cu, 22% Zn e 2% Al) e latão amarelo (67% Cu e 33% Zn), mas é observada geralmente em ligas mais resistentes à corrosão deste tipo, como o latão vermelho (85% Cu e 15% Zn) em caso de a partida da liga não se apresentar suficientemente homogênea.

É um tipo de corrosão inibida por tratamento térmico de solubilização da liga e acréscimo à liga de As e Sb. A corrosão galvânica (bimetálica) pode ocorrer quando metais diferentes estão em contato num eletrólito comum, por exemplo, chuva, condensação, impurezas, poluição, entre outros. Se a corrente elétrica flui entre os dois, o metal menos nobre, o anodo, se corrói a uma taxa mais rápida do que se os metais não estivessem em contato. A taxa de corrosão depende também das áreas relativas ao contato dos metais, a temperatura e a composição do eletrólito, em particular, quanto maior a área do catodo em relação ao anodo, maior é a taxa de ataque.

As proporções desfavoráveis de áreas ocorrem provavelmente com os fixadores e as juntas. Neste caso, deveriam ser evitados os parafusos de aço carbono nos componentes de aço inoxidável devido à proporção da área do aço inoxidável para o aço carbono que é grande e os parafusos estarão sujeitos a ataque agressivo. Inversamente a taxa de ataque de um componente de aço carbono por um parafuso de aço inoxidável é muito menor.

É útil extrair a experiência de uma situação anterior em situações similares, porque metais diferentes podem frequentemente ser unidos de forma segura e sob condições de condensação ocasional ou umidade, com resultados não adversos principalmente quando a condutividade do eletrólito é baixa. A previsão desses efeitos é difícil porque a taxa de corrosão é determinada por um número de questões complexas.

O uso de tabelas de potencial ignora a presença de filmes de óxido na superfície, e os efeitos das proporções da área e diferentes soluções químicas (eletrólito), entretanto, o uso inadequado destas tabelas pode produzir resultados incorretos, elas devem ser utilizadas com cuidado e somente para avaliação inicial.

Os aços inoxidáveis austeníticos normalmente formam o cátodo num par bimetálico e então não sofrem corrosão, uma exceção é o par com cobre que deveria ser normalmente evitado, exceto em condições propícias. O contato entre aços inoxidáveis austeníticos e zinco ou alumínio pode resultar em alguma corrosão adicional dos dois últimos metais.

3.3.10 Corrosão associada ao escoamento de fluidos

A corrosão por escoamento de fluido pode acelerar o processo de corrosão. Este processo pode remover proteções anti-corrosivas, e criar pilhas de impurezas como um cátodo e conseqüentemente inicia o processo de corrosão e essas pilhas de impurezas podem acumular-se em juntas ou frestas.

3.3.11 Corrosão-erosão

Define-se erosão neste caso como o desgaste mecânico de uma substância sólida, o material de componentes ou condutores de um sistema causado pela abrasão superficial de uma substância sólida, pura ou em suspensão num fluido, seja ele líquido ou gasoso. São casos comuns e frequentes deste tipo de ação:

- 1) No deslocamento de materiais sólidos, de qualquer granulometria, como rochas britadas, minérios ou produtos industriais diversos, como o cimento.
- 2) No deslocamento de um líquido contendo um sólido em suspensão, como as lamas de produção de minérios.
- 3) No deslocamento de gases contendo partículas líquidas ou sólidas, como no caso de cinzas abrasivas resultantes da queima de carvão mineral juntamente com os gases de exaustão da combustão de usinas termoelétricas.

A ação erosiva ocorre normalmente no caso de líquidos e gases, em tubulações, em permutadores de calor, em pás de turbinas, em parafusos de bombas de Arquimedes, etc. O desgaste superficial causado pela erosão é capaz de destruir, ainda que pontualmente, a princípio, as camadas protetoras (passivas) formadas pelos próprios produtos de corrosão, ocasionando a formação de pilhas ativo-passivas. Por outro caminho, o processo corrosivo leva à produção de películas de produtos de corrosão, que são passivadoras da superfície, mas tais camadas são removidas continuamente pelo processo erosivo, levando ao contínuo desgaste pelas duas vias do material. Assim, quando associado com o processo erosivo, mais intenso se torna o processo corrosivo, tendo como somatório um desgaste maior que se apenas estivesse em ação o processo corrosivo ou o erosivo.

3.3.12 Corrosão com cavitação

Define-se cavitação como o processo de desgaste provocado em uma superfície, especialmente metálica ou mesmo de concreto, devido a ondas de choque no líquido, oriundas do colapso de bolhas gasosas (cavidades) nele temporariamente formadas por ebulição, normalmente a baixa pressão. Nas regiões de um sistema em movimento, como são os casos de pás de bombas centrífugas ou em vibração (por exemplo os casos das camisas de fluídos refrigerantes dos motores), onde ocorrem momentos de baixas pressões o suficiente para produzir bolhas de vapor ou mesmo de gases até então dissolvidos e havendo a reversão para situações de pressão mais alta, causando o colapso de tais bolhas, que por redução instantânea de seu volume provoca ondas de choque e causa o impacto do fluído com as paredes, num efeito de "martelamento".

Do mesmo modo que a erosão por partículas em suspensão nos fluídos, a cavitação provoca a destruição das camadas de oxidação protetora das superfícies, propiciando de maneira similar o ataque corrosivo, com o acréscimo de provocar a deformação plástica com o encruamento causado pela ação das ondas de choque de alta pressão, ocasionando a formação de novas regiões anódicas. Igualmente ao processo de corrosão com ação conjunta da erosão, a ação dos dois fatores somados, causa maiores perdas de material que a ação isolada da cavitação ou da corrosão.

Cito igualmente a formação, propiciando a maior formação de bolhas, de "focos de ebulição", que são regiões de maior aspereza (ou pontas e arestas) no material, de onde há a mais fácil formação de bolhas de vapor, exatamente pela ação inicial da corrosão ou da cavitação, sinergizando o processo e propiciando ainda mais cavitação.

3.3.13 Corrosão por turbulência ou impingimento

A chamada corrosão por turbulência ou impingimento é um processo corrosivo associado aos fluxos turbulentos de um líquido, ocorrendo especialmente quando há a redução da área do fluxo, ou em outras palavras, quando seu caminho torna-se mais estreito ou apresenta mudança de direção, como em curvas ou popularmente dito em tubulações, "cotovelos".

De modo similar à cavitação, os fluxos turbulentos podem provocar regiões de baixa pressão e bolhas especialmente de gases dissolvidos, exemplo o ar e vapor que podem colapsar, causando a ação de ondas de choque do fluido contra a parede metálica, sendo o processo erosivo resultante, deste modo, denominado de impingimento. O ataque é um tanto diferente da cavitação, por propiciar alvéolos na forma de ferradura e pela ação dominante de bolhas, geralmente ar, enquanto na cavitação a fase gasosa dominante é o vapor do líquido.

3.4 FORMAS DE CORROSÃO

3.4.1 Corrosão por placas

A corrosão por placas se dá quando os produtos da reação de corrosão formam-se em placas que se progressivamente se desprendem do volume do material. É comum em metais que formam películas protetoras a princípio, mas quando estas ganham espessura pelo aumento do volume do produto de corrosão, causam fraturas, perdem aderência no material principal, desprendem-se e expõem novas massas de metal ao ataque.

3.4.2 Corrosão alveolar

A corrosão alveolar ocorre quando a perda de volume provocado pela corrosão se dá sob forma mais localizada, com maior profundidade e sem o desprendimento de material não corroído como ocorre na corrosão por placas, passando a formar crateras. Normalmente iniciam

por corrosão por pite e são frequentes em metais que formam películas semi-protetoras ou quando o processo de corrosão se dá por depósito, como em casos de corrosão por aeração.

3.4.3 Corrosão intergranular ou intercrystalina

Corrosão intergranular ou intercrystalina ocorre quando o ataque se manifesta no contorno dos grãos e ocorre com mais frequência nos aços inoxidáveis austeníticos quando sensibilizados e expostos a meios corrosivos, porém ocorre também no alumínio, duralumínio, cobre e suas ligas, além de outros materiais.

3.4.4 Corrosão transgranular ou transcristalina

Corrosão transgranular ou transcristalina ocorre quando o fenômeno se manifesta sob a forma de trincas que se propagam pelo interior dos grãos do material, como no caso da corrosão sob tensão dos aços inoxidáveis austeníticos. Determinando meio de exposição, processo que resulta na formação de produtos de corrosão e na libertação de energia.

4. ANALISANDO AS FORMAS E TIPOS DE CORROSÃO

Com as informações citadas acima, pode perceber que a corrosão ocorrerá em todos os materiais metálicos, ferrosos e não ferrosos que todos os materiais possuem suas características particulares de corrosão, o que as diferenciam no processo, porém, todas possuem uma característica em comum, que é a perda de sua massa, localizada ou não.

Excluindo as característica particulares de cada material, que são, tempo para a corrosão se instalar na peça, o modo que a corrosão se instala, se ela é localizada ou acontece de forma generalizada. Podemos definir que o processo de corrosão causa o retorno dos materiais ao seu estado estável, a forma de minério, o minério sempre será a sua forma mais estável, esse processo ocorrerá em todos os materiais ferrosos e não ferrosos. O tempo para este processo dependerá de como o material será tratado, se tratado afim de evitar a corrosão, o processo de transformação para minério será mais lento e de forma branda, se o material não tiver qualquer proteção contra corrosão, o processo ocorrerá de forma rápida e muito agressiva.

O intuito desta primeira pesquisa, foi descobrir uma característica fundamental entre todos os tipos e formas de corrosão, esta característica ficou evidenciada como a perda de massa do material, o retorno a sua forma de minério, com esta característica evidenciada, será possível analisar os tipos de detectores de corrosão existentes hoje e analisar que métodos esses detectores usam para identificar a corrosão e pontuar suas vantagens e desvantagens, para um projeto de detecção de corrosão.

5. TIPOS DE DETECÇÃO DE CORROSÃO

5.1 Líquidos penetrantes

O ensaio por líquidos penetrantes presta-se a detectar discontinuidades superficiais e que sejam abertas na superfície, tais como trincas, poros, dobras, entre outros, podendo ser aplicado em todos os materiais sólidos e que não sejam porosos ou com superfície muito grosseira.

O processo é muito usado em materiais não magnéticos como alumínio, magnésio, aços inoxidáveis austeníticos, ligas de titânio, e zircônio, além dos materiais magnéticos. É também aplicado em cerâmica vitrificada, vidro e plásticos.

O método consiste em fazer penetrar na abertura da discontinuidade um líquido, após a remoção do excesso de líquido da superfície, faz-se sair da discontinuidade o líquido retido através de um revelador. A imagem da discontinuidade fica então desenhada sobre a superfície. (Fonte: Ricardo Andreucci, 2006).

Vantagens:

- ✓ Fácil utilização;
- ✓ Não necessita de profissional altamente capacitado;
- ✓ Fácil identificação do problema.

Desvantagens

- ✓ Necessita de um grande preparo na superfície;
- ✓ Só localiza corrosão em superfície;
- ✓ A peça necessita estar 100% descoberta;
- ✓ Para ser um teste bem realizado, é necessário estar em laboratório.

5.2 Radiografia

A radiografia é um método usado para inspeção não destrutiva que baseia-se na absorção diferenciada da radiação penetrante pela peça que está sendo inspecionada.

Devido às diferenças na densidade e variações na espessura do material, ou mesmo diferenças nas características de absorção causadas por variações na composição do material, diferentes regiões de uma peça absorverão quantidades diferentes da radiação penetrante.

Essa absorção diferenciada da radiação poderá ser detectada através de um filme, ou através de um tubo de imagem ou mesmo medida por detectores eletrônicos de radiação. Essa variação na quantidade de radiação absorvida, detectada através de um meio, irá nos indicar, entre outras coisas, a existência de uma falha interna ou defeito no material.

A radiografia industrial é então usada para detectar a variação de uma região de um determinado material que apresenta uma diferença em espessura ou densidade comparada com uma região vizinha, em outras palavras, a radiografia é um método capaz de detectar com boas sensibilidade defeitos volumétricos. Isto quer dizer que a capacidade do processo de detectar defeitos com pequenas espessuras em planos perpendiculares ao feixe, como trinca, dependerá da técnica de ensaio realizado.

Defeitos volumétricos como vazios e inclusões que apresentam uma espessura variável em todas direções, serão facilmente detectados desde que não sejam muito pequenos em relação à espessura da peça.

(Fonte: Ricardo Andreucci, 2006).

Vantagens:

- ✓ Detecção de falhas e corrosão mínimas.

Desvantagens:

- ✓ Uso em laboratório;
- ✓ Uso de filme revelador;
- ✓ Método perigoso e de alto risco a saúde;
- ✓ Técnico especializado para o uso;
- ✓ A peça necessita estar totalmente descoberta.

5.3 Ultrassônico

Sons extremamente graves ou agudos, podem passar despercebidos pelo aparelho auditivo humano, não por deficiência deste, mas por caracterizarem vibrações com frequências muito baixas, até 20Hz (infra-som) ou com frequências muito altas acima de 20 kHz (ultra-som), ambas inaudíveis.

Como sabemos, os sons produzidos em um ambiente qualquer, refletem-se ou reverberam nas paredes que consistem o mesmo, podendo ainda ser transmitidos a outros ambientes.

Fenômenos como este apesar de simples e serem frequentes em nossa vida cotidiana, constituem os fundamentos do ensaio ultrassônico de materiais. No passado, testes de eixos ferroviários, ou mesmos sinos, eram executados através de testes com martelo, em que o som produzido pela peça, denunciava a presença de rachaduras ou trincas grosseiras pelo som característico.

Assim como uma onda sonora reflete ao incidir num anteparo qualquer, a vibração ou onda ultrassônica ao percorrer um meio elástico refletirá da mesma forma, ao incidir numa descontinuidade ou falha interna a este meio considerado. Através de aparelhos especiais, detectamos as reflexões provenientes do interior da peça examinada, localizando e interpretando as descontinuidades.

(Fonte: Ricardo Andreucci, 2006).

Vantagens:

- ✓ O método ultrassônico possui alta sensibilidade na detectabilidade de pequenas descontinuidades internas;
- ✓ Trincas devido a tratamento térmico, fissuras, corrosão e outros de difícil detecção por ensaio de radiações penetrantes Para interpretação das indicações, dispensa processos intermediários, agilizando a inspeção;
- ✓ No caso de radiografia ou gamagrafia, existe a necessidade do processo de revelação do filme, que via de regra demanda tempo;
- ✓ Ao contrário dos ensaios por radiações penetrantes, o ensaio ultrassônico não requer planos especiais de segurança ou quaisquer acessórios para sua aplicação.

Desvantagens:

- ✓ Requer grande conhecimento teórico e experiência;
- ✓ O registro permanente do teste não é facilmente obtido;
- ✓ Faixas de espessuras muito finas;
- ✓ Requer o preparo da superfície para sua aplicação. Em alguns casos de inspeção de solda, existe a necessidade da remoção total do reforço da solda, que demanda tempo de fábrica.

5.4 Eddy Current

São baseados nos princípios de indução eletromagnética, que são usados para a detecção de descontinuidades, além de possibilitar diversos usos, tais como: medir condutividade elétrica, permeabilidade magnética, dureza, medir espessura de camada de um metal não condutor sobre um metal condutor, detecção de corrosão, entre outros.

Esta técnica não requer contato elétrico direto com a peça a ser ensaiada. A peça a ser ensaiada é colocada dentro de uma bobina (bobina envolvente) ou uma sonda (bobina de superfície ou orifício) é colocada em contato com a superfície da peça a ser ensaiada.

Uma corrente elétrica alternada circula pela bobina (corrente de excitação) gerando um campo eletromagnético chamado de campo primário H_p , o qual induz um fluxo de correntes circulares e paralelas à superfície da peça, chamadas de correntes parasitas. Estas correntes por sua vez geram um segundo campo eletromagnético, chamado de campo secundário H_s , o qual tem sentido contrário ao campo primário, obtendo-se assim, um campo magnético resultante $H_p - H_s$.

Variações nas características do material sob inspeção, tais como, descontinuidades, dureza, geometria e corrosão, produzem uma mudança no fluxo de correntes parasitas, e por consequência uma variação do campo resultante ($H_p - H_s$) causando uma variação na tensão e na impedância produzidas na bobina.

(Fonte: Handbook military USA, Eddy Current testing, 1985).

Vantagem:

- ✓ Boa sensibilidade na detecção de pequenas descontinuidade de superficiais;
- ✓ Aplica-se tanto em metais ferrosos e não ferrosos;
- ✓ As indicações são imediatas;
- ✓ Não exige uma preparação superficial rigorosa da peça.

Desvantagens:

- ✓ Pouca penetração;
- ✓ Várias variáveis afetam o ensaio;
- ✓ Em várias situações os resultados são qualitativos;
- ✓ As indicações não são produzidas diretamente na peça.

5.5 Partículas magnéticas

O ensaio por partículas magnéticas é utilizado na localização de descontinuidades superficiais e sub-superficiais em materiais ferromagnéticos. Pode ser aplicado tanto em peças acabadas quanto semiacabadas e durante as etapas de fabricação.

O processo consiste em submeter a peça, ou parte desta, a um campo magnético, na região magnetizada da peça, as descontinuidades existentes, ou seja a falta de continuidade das propriedades magnéticas do material, irão causar um campo de fuga do fluxo magnético. Com a aplicação das partículas ferromagnéticas, ocorrerá a aglomeração destas nos campos de fuga, uma vez que serão por eles atraídas devido ao surgimento de pólos magnéticos. A aglomeração indicará o contorno do campo de fuga, fornecendo a visualização do formato e da extensão da descontinuidade.

(Fonte: Ricardo Andreucci, 2006).

Vantagens:

- ✓ Fácil aplicabilidade;
- ✓ Usado em qualquer formato de peças.

Desvantagens:

- ✓ Se aplica apenas em superfície ou perto dela;
- ✓ Uso em laboratório;
- ✓ Maquinário não transportável.

5.6 Diminuição de seção

O teste por diminuição de seção, não é um método utilizado para a detecção de corrosão no mercado atual. Estudando as formas e tipos de corrosão, foi identificado em todos os casos, que a diminuição de seção acontece de forma vigorosa e constante nos tipos e formas de corrosão. Sabendo que a resistência ôhmica de um material muda quando há uma diminuição de seção, necessitarei realizar alguns testes com corpo de provas padronizadas, para checar se essa variação de resistência é acentuada o suficiente para ser usada como base, para assim elaborar um circuito para a detecção de corrosão, após a realização dos testes evidenciarei as vantagens e desvantagens deste processo.

5.6.1 Teste no aumento da resistência na diminuição de seção

Analisado o capítulo anterior realizei os testes com corpos de provas padronizados para saber a efetiva mudança na resistência ôhmica das peças com corrosão e se essas mudanças seriam significativas para uma detecção de corrosão.

Inicialmente senti uma dificuldade grande para realizar os testes, sabia que as mudanças seriam pequenas e para realizar os testes era necessário um equipamento ohmímetro com escala milimétrica, ou 10^{-3} .

Inicialmente não localizei um equipamento com essa escala, procurei no mercado, e percebi que o valor de um ohmímetro com essa escala, era em média R\$ 5.000,00 cada equipamento, a empresa onde trabalha dispunha deste equipamento para aferir “emendas” de fios de chicote de aeronaves, em uma manutenção deste nível, há uma especificação a ser seguida em manual.

Os corpos de provas eram constituídos de aço cilíndrico com 6 mm de diâmetro, com peso de 100 g e 20 cm de comprimento. Segui criteriosamente alguns passos para que nenhum erro acontecesse, como temperatura e contato para medição. Antes de cada medição deixei o corpo de prova em uma ambiente com temperatura controlada, o corpo de prova ficou dentro de um recipiente com álcool em temperatura ambiente, como as medições ocorreram no mesmo momento, a temperatura estava igual para todos, aproximadamente 26°C , o álcool é volátil, ou seja, evapora muito rápido, então o corpo de provas chegava já seco no equipamento.

As garras utilizadas para prender o corpo de provas eram especificados para objetos cilíndricos, o equipamento tinha vários tamanhos de prensa cabos e um deles era para cabos de exatamente 6 mm.

Os primeiros testes me deixaram bem animado, eles se mostraram mais presentes que o esperado, todos os resultados estão demonstrados no gráfico a seguir, na coluna vertical está a resistência, na coluna horizontal, a porcentagem de corrosão aproximada nos testes. A corrosão que utilizei para os testes foi do tipo abrasão.

Os resultados mostraram-se bem interessantes, já que foram constantes nas medições, não mostraram um erro ou diferenças exorbitantes. Os resultados demonstraram-se quase que iguais, com diferenças sutis.

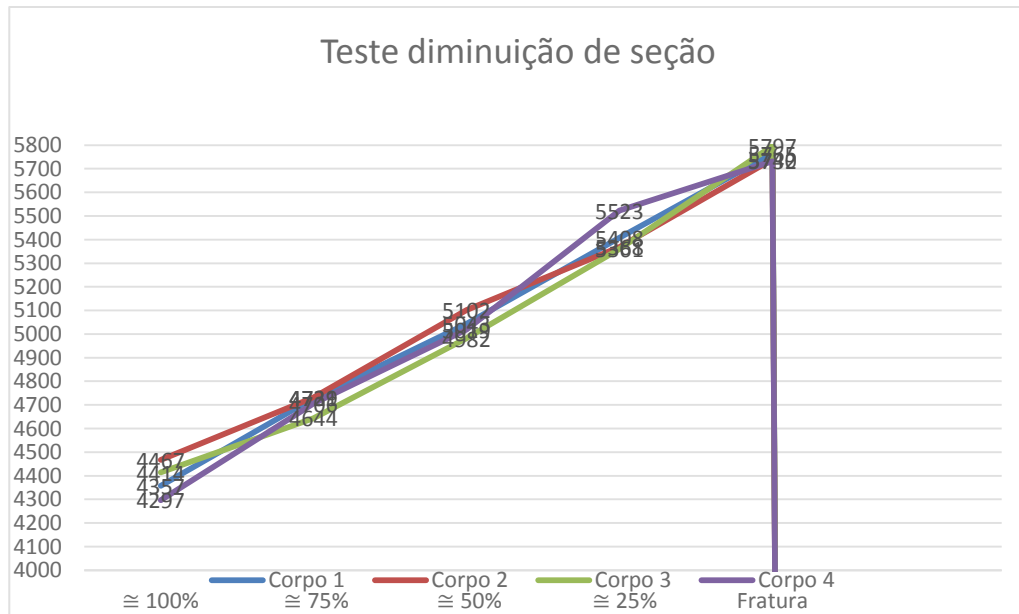


Figura 11 - Gráfico de teste diminuição de seção

(Fonte: Próprio autor)

Vantagens:

- ✓ Possível efetuar leituras instantâneas e monitoramento;
- ✓ Maquinário pequeno;

- ✓ Qualquer técnico consegue efetuar leituras;
- ✓ É possível efetuar leitura por um controlador.

Desvantagens:

- ✓ Uma possível variação por temperatura;
- ✓ Pequeno erro por contato.

6. ANÁLISE DOS DETECTORES DE CORROSÃO

6.1 Líquidos penetrantes

O teste por líquidos penetrantes, mostrou-se muito eficiente em corrosões e fraturas superficiais ou pouco a baixo da superfície, mas no caso de um problema com uma peça não exposta e de difícil acesso, não mostra-se eficiente. Para o projeto, como a peça apresenta-se na maioria das vezes dentro destas condições, ela não será utilizada.

6.2 Radiografia

A radiografia é muito eficiente na detecção de corrosão e fraturas, ela nos mostra até mesmo a mínima descontinuidade, porém, não será um método eficiente para o projeto já que o teste por radiografia deve ocorrer em laboratório com técnicos especializados. É um método perigoso, se usado de forma incorreta e a peça necessariamente deve estar completamente exposta e limpa.

6.3 Ultrassônico

O método ultrassônico é bastante eficiente na detecção de corrosão e/ou fissuras, podendo ser utilizado sem grandes problemas, pois utiliza o ultrassom inaudível para o ser humano. Não necessita de técnicos específicos, e possibilita a manipulação das características não condizentes com o projeto permitindo seu uso no estudo.

6.4 Eddy current

O teste com *eddy current* é utilizado para vários fins, um deles é para detecção de corrosão. Para realização do teste, é necessário um grande aparato técnico e equipamentos que não são transportados com facilidade, por este motivo o método foi descartado para o estudo.

6.5 Partículas magnéticas

O teste por partículas magnéticas é utilizado para detecção de corrosão e discontinuidades superficiais ou sub superficiais, é utilizado apenas em materiais ferrosos, necessariamente em laboratório e com um técnico especializado, não sendo eleito para o estudo.

6.6 Diminuição de seção

O teste por diminuição de seção se mostrou bastante favorável na detecção de corrosão e possíveis fraturas, demonstrando uma diferença linear, porém sutil. As diferenças são pequenas, mas detectáveis com equipamento ou micro controladores, tornando-se o método mais eficiente e escolhido para o desenvolvimento do projeto.

7. METODOLOGIA - MÉTODO DEDUTIVO

Com informações iniciais obtidas, a corrosão ocorre em todos os casos como uma perda de massa do material, sabendo, que quanto mais material condutor objeto tiver, menor será sua resistência a passagem de corrente, ou seja, se o material estiver íntegro ele terá uma resistência, se a corrosão atingir tal objeto, sua resistência aumentará, devido a uma diminuição de seção e perda de massa.

Com um micro controlador, será possível efetuar leituras dessas diferenças de resistência e assim traçar um padrão para a corrosão, fornecendo informações precisas do andamento da corrosão ou a identificação de um problema sério a ser resolvido em leituras esporádicas. O projeto pode ser ligado com um transmissor, tanto com cabos ou sem fio, a transmissão dos dados para um centro de controle não será abordado neste trabalho. O foco é realmente mostrar que é possível efetuar leituras e identificação da corrosão, a seguir mostrarei detalhadamente o circuito e seu funcionamento para a leitura da resistência ôhmica de uma peça ou estrutura.

7.1 Circuito de medição de corrosão

O circuito é basicamente um circuito de um ohmímetro, não foi utilizado um ohmímetro industrializado basicamente pelo custo, com as pesquisas e testes que realizei no decorrer do trabalho, identifiquei que a escala a se trabalhar é muito baixa. Na escala de mili-ohms, em pesquisas no mercado atual, foi localizado equipamentos de vários valores, mas todos com preço médio de R\$ 5.000,00 (cada unidade), impossibilitando a utilização, com o circuito ohmímetro desenvolvido em software especializado para o fim da eletrônica, neste caso o proteus e multsim, foi possível reduzir drasticamente este valor, para que o equipamento possa

ser fixado a um ponto que necessita de monitoramento, ou seja, transportado para efetuar leitura pontuais.

O circuito tem seu funcionamento da seguinte forma, o circuito irá aplicar uma corrente de 1A ou 0,5A ao tubo e medirá através de um amplificador de instrumentação a tensão que está aplicada ao tubo, podendo assim aplicar a fórmula para calcular a resistência do tubo.

O CI U2 do circuito mantém em sua saída uma tensão de 1,25V em relação ao “ADJ”. Quando ligado um dos dois resistores R2 ou R3 (1A ou 0,5A) podemos controlar a corrente que passa no U2, por ser um regulador linear, ele tem a característica de ter a mesma corrente em todos os circuitos conectados a ele, sendo assim, é possível controlar de forma precisa a corrente que irá passar pelo tubo que será conectado à alimentação de tensão deste CI.

Sabendo a corrente que irá passar pelo tubo é necessário medir a tensão que está sendo aplicada ao tubo para conseguir calcular a resistência elétrica, para essa medição foram utilizados 3 amplificadores operacionais ligados de maneira a formar um amplificador de instrumentação, isso é necessário pois a tensão que é aplicada ao tubo pode ser muito pequena de forma que um simples amplificador diferencial não conseguiria amplificar com precisão suficiente, o amplificador de instrumentação é muito eficiente na eliminação de ruídos de modo comum, ou seja, quando ocorre um ruído ou variação na alimentação ambas as entradas do amplificador irão aumentar ou diminuir de tensão proporcionalmente fazendo com que amplificadores normais mudem o ganho dependendo de como foi a variação mas o amplificador de instrumentação elimina este efeito.

Depois de amplificado o sinal é necessário converter para fazer o cálculo da resistência, o CI U5 será o responsável de efetuar esta conversão, ele é um conversor de 16bits, ou seja, disponibiliza um número 65.535 quando a sua entrada “IN+” está em 3,3V. Para dar início a conversão e efetuar a leitura do número convertido é usado o CI U1, um micro controlador de

8bits PIC18F4620, ele possui uma comunicação SPI com o conversor AD e outra comunicação UART com o módulo ZigBee®.

Este micro controlador efetuará a leitura do conversor AD e selecionará através do relé K1 qual é a corrente mais apropriada para o cálculo da resistência, assim que terminada a conversão e o cálculo, o valor da resistência será enviado pelo módulo ZigBee® para o terminal onde será indicado o valor da resistência.

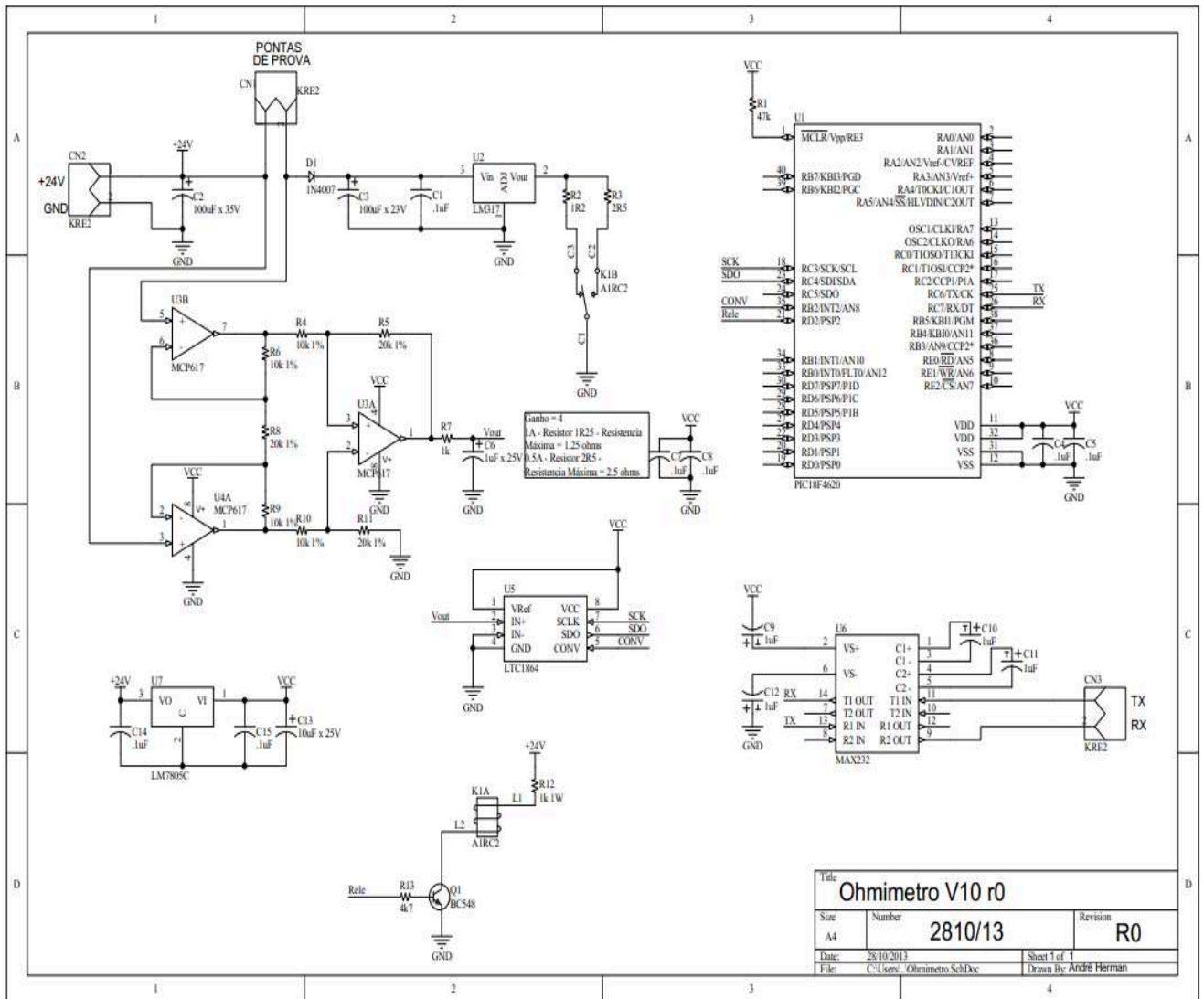


Figura 12: Circuito ohmímetro.

(Fonte: Próprio autor, 2013).

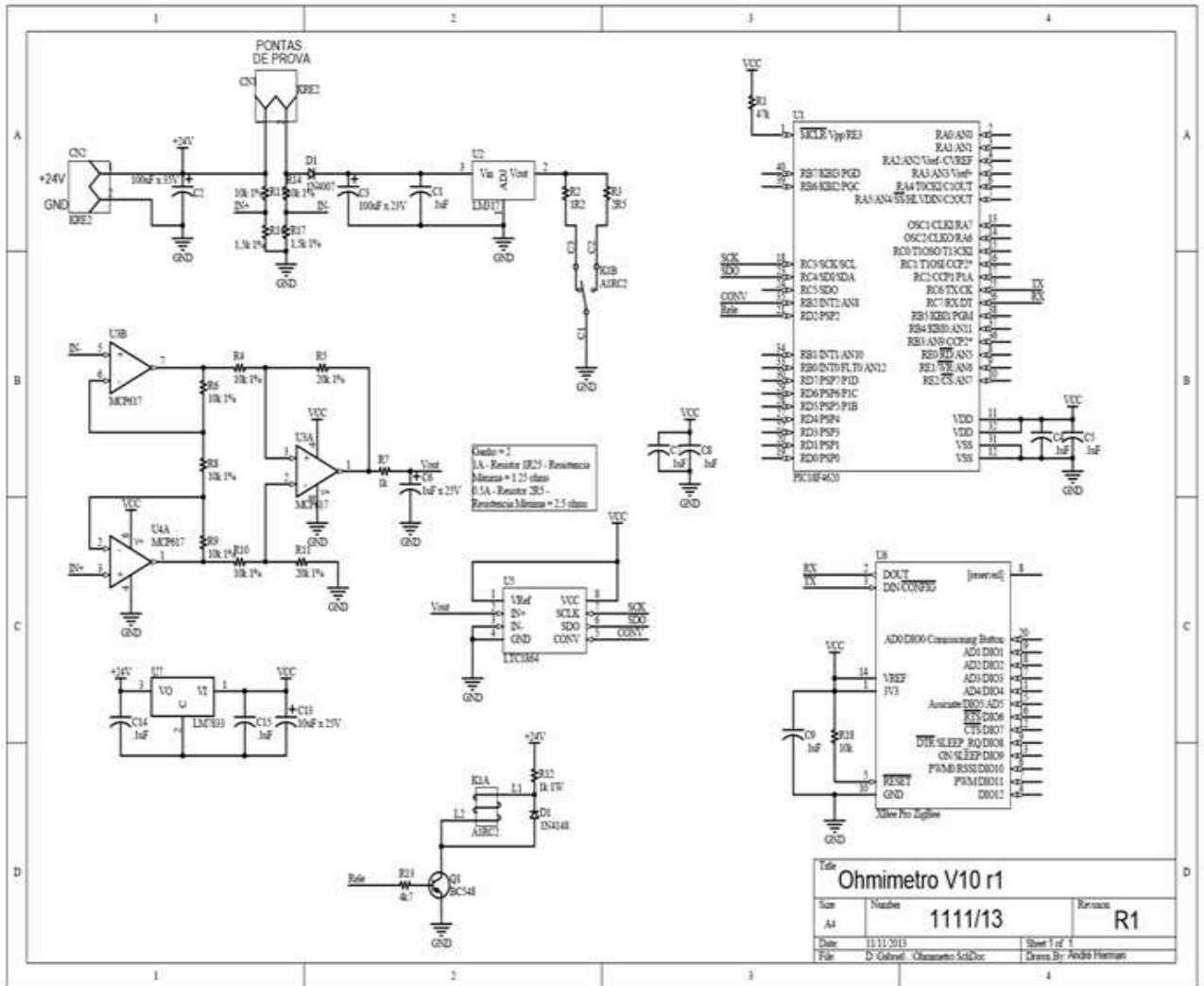


Figura 13: Circuito ohmimetro com modulo ZigBee
(Fonte: Próprio autor, 2013).

8. CIRCUITO PARA MONITORAMENTO DE FRATURAS EM MATÉRIAS COMPOSTOS

O circuito para materiais compostos deve ser feito de maneira diferente comparado ao circuito de materiais metálicos, no caso destes materiais utilizamos sua condutibilidade para o projeto, avaliando a todo o momento sua resistência ôhmica, nos materiais compostos teremos que fornecer sua condutibilidade, como não acontecerá uma corrosão como nos materiais metálicos, a avaliação será baseada em fraturas e trincas.

Para este caso utilizarei um micro controlador para nos fornecer o alerta quando a trinca ou fratura ocorrer, no projeto é utilizado um PIC Atmel 1121, a linguagem computacional é o C uma folha de alumínio com resistência específica (sensor).

O micro controlador enviara uma sinal constante para o circuito, porem o sinal é desviado para o sensor, enquanto a mesma estiver integro o sinal permanecerá no sensor, quanto a trinca ocorrer e romper o sensor, o sinal enviado começara a passar através do circuito, acionando um sinal HIGH para o micro controlador ativando o LED e sinal sonoro de aviso.

9. ACIDENTE AERONÁUTICO DECORRENTE DE TRINCA SEM TRATAMENTO

Em 28 de Abril de 1988, Boeing 797 da Aloha Airlines



Figura 14: Fraturas

(Fonte <http://inspecaoequipto.blogspot.com.br/2014/02/caso-060-avioes-comet-falhas-por-fadiga.html>)

2º Voo 123 da Japan Airlines

''O voo saiu às 18h12min. Decorridos os primeiros 12 minutos, enquanto a aeronave alcançava a sua altitude de cruzeiro sobre a *baía Sagami*, rompeu-se o selo traseiro de pressurização, resultando na perda do estabilizador vertical e outras partes que caíram no mar, depressurizando a cabine e danificando severamente as quatro linhas hidráulicas da aeronave. Os pilotos sintonizaram o rádio numa frequência exclusiva para emergências dirigida a Tóquio onde se lhes permitiu a aterragem proporcionando-lhes os vetores principais para uma aterragem de emergência. Continuando os problemas solicitaram os vetores de regresso a Haneda e depois a Yokota (onde há uma base militar dos E.U.A.), mas regressaram a Haneda, já que a aeronave começava a voar sem controle.

Com a perda de controle total das superfícies estabilizadoras o avião começou a oscilar elevando-se e descendo no que é conhecido como um ciclo fugoide, um modo de voo típico em acidentes de aeronaves em que os controlos estão indisponíveis. Depois de descer a 4100 m, os pilotos reportaram que a aeronave estava totalmente incontrolável, e sobrevoaram a península de Izu dirigindo-se para o oceano Pacífico e depois para a praia, descendo a 2.100m. Os pilotos conseguiram elevar a altitude para 4000 m antes de entrar numa descida vertiginosa

através das montanhas e desapareceram do radar às 18h56min, a 2100 m de altitude. Durante as oscilações que precederam a queda da aeronave, os pilotos implementaram uma medida de controle usando a reação das turbinas. Os momentos finais do avião ocorreram quando colidiu em uma montanha como resultado da perda de controle, batendo na encosta. Trinta minutos se passaram da falha até ao momento do impacto, tempo esse que permitiu que alguns passageiros escrevessem notas de despedida a seus familiares.’’

(Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Voo_Japan_Airlines_123).

10. ALGUNS EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

10.1 Fraturas e rompimentos em estruturas metálicas

Analisando todos os principais tipos de corrosão e suas formas, foi possível identificar que a perda de massa devido a corrosão ocorrerá em todos os principais casos apresentados, acarretando diminuição de suas seções automaticamente durante o andamento da corrosão. No caso de fraturas ou trinca da peça, a diminuição de seção também acontece, podendo inclusive ser mais evidente e grave do que uma corrosão. Ambas não tem necessariamente uma perda de massa, mas uma trinca apresenta a separação entre seções da peça, aumentando sua resistência da mesma maneira que nos casos de corrosão, por este motivo é possível utilizar o projeto para a identificação de trincas e fraturas em estruturas metálicas, evitando assim possíveis prejuízos e riscos de acidentes graves.

10.2 Inspeção em cabos de transmissão de alta tensão

Os cabos das linhas de transmissão de energia elétrica são normalmente construídos de um núcleo composto por fios de aço galvanizados, o qual é recoberto por várias camadas de fios de alumínio. Os fios de alumínio tem por função conduzir a corrente elétrica, enquanto os fios de aço visam dar sustentação mecânica ao cabo. Uma vez consumida a camada de zinco, a corrosão se processa de forma acelerada sobre os fios de aço, o que compromete a sua integridade física e pode levar a queda do cabo. As consequências da queda de um cabo energizado incluem a interrupção no fornecimento de energia elétrica e sérios riscos à segurança das populações vizinhas.

A velocidade com que ocorre a degradação do núcleo do cabo depende de inúmeros fatores, como de características do processo construtivo do cabo. Como resultado existem cabos em operação há 80 anos cujos condutores se apresentam íntegros, enquanto ocorrem quedas de

cabos com menos de 10 anos de serviço, não sendo possível, portanto, estimar a vida útil do cabo a partir da sua data de instalação.

Atualmente, as concessionárias avaliam a integridade dos cabos das linhas de transmissão por inspeção visual e substituem os trechos suspeitos de estarem comprometidos, no entanto, como o processo corrosivo ocorre no núcleo do cabo, a inspeção visual não é efetiva na detecção da corrosão.

(Fonte: <http://www.cpqd.com.br/tags/linhas-de-transmissao>, 2013)

Assim é possível então, dividir as linhas de transmissão em partes iguais, desde a usina até as sub estações, em cada divisão colocar o circuito que identifica corrosão por diminuição de seção e deixar lincado em tempo real com a concessionária de energia, deste modo haverá um supervisionamento das condições reais dos cabos de transmissão, evitando trocas desnecessárias e quedas de cabos energizados.

10.3 Barra de anôdo de sacrifício

As barras de anodos de sacrifício, são usadas normalmente em ambientes com alto poder corrosivo, como por exemplo água salgada. A barra pode ser constituída de vários metais como: alumínio, magnésio, zinco e até mesmo o ferro. O material a ser utilizado vai depender do material a ser protegido baseado na tabela de metais.

A barra funciona como um anôdo: quando a oxidação se inicia, a barra de sacrifício fornecerá os elétrons para que o material não seja corroído, a barra fornecendo esse elétrons começara a sofrer os efeitos corrosão, como um contato galvânico ou uma corrosão galvânica (contato de metais diferentes). Uma supervisão desta barra é primordial para que não seja

totalmente corroída e a estrutura que estava protegida até então, começa a sofrer ação da corrosão.

A barra ânódica é usada largamente em navios, plataformas de petróleo, bóias sinalizadoras e afins. Caso aconteça um erro e a barra ânódica seja totalmente corroída, a corrosão nesses equipamentos será extremamente acelerada.

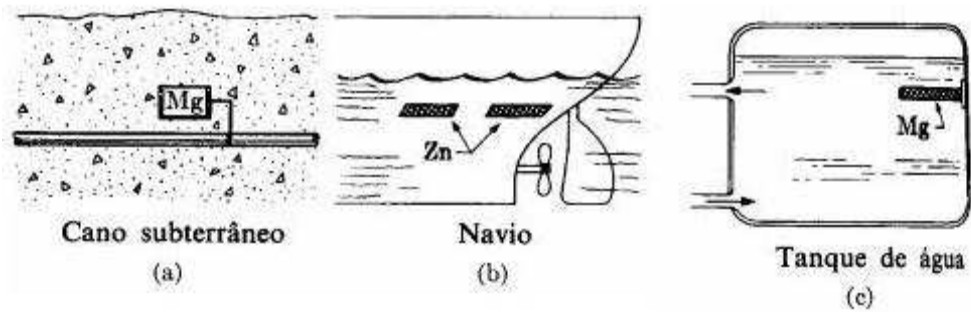


Figura 15: Barra de ânodo de sacrifício

(Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAkaAAG/corrosao-quimica?part=3>)

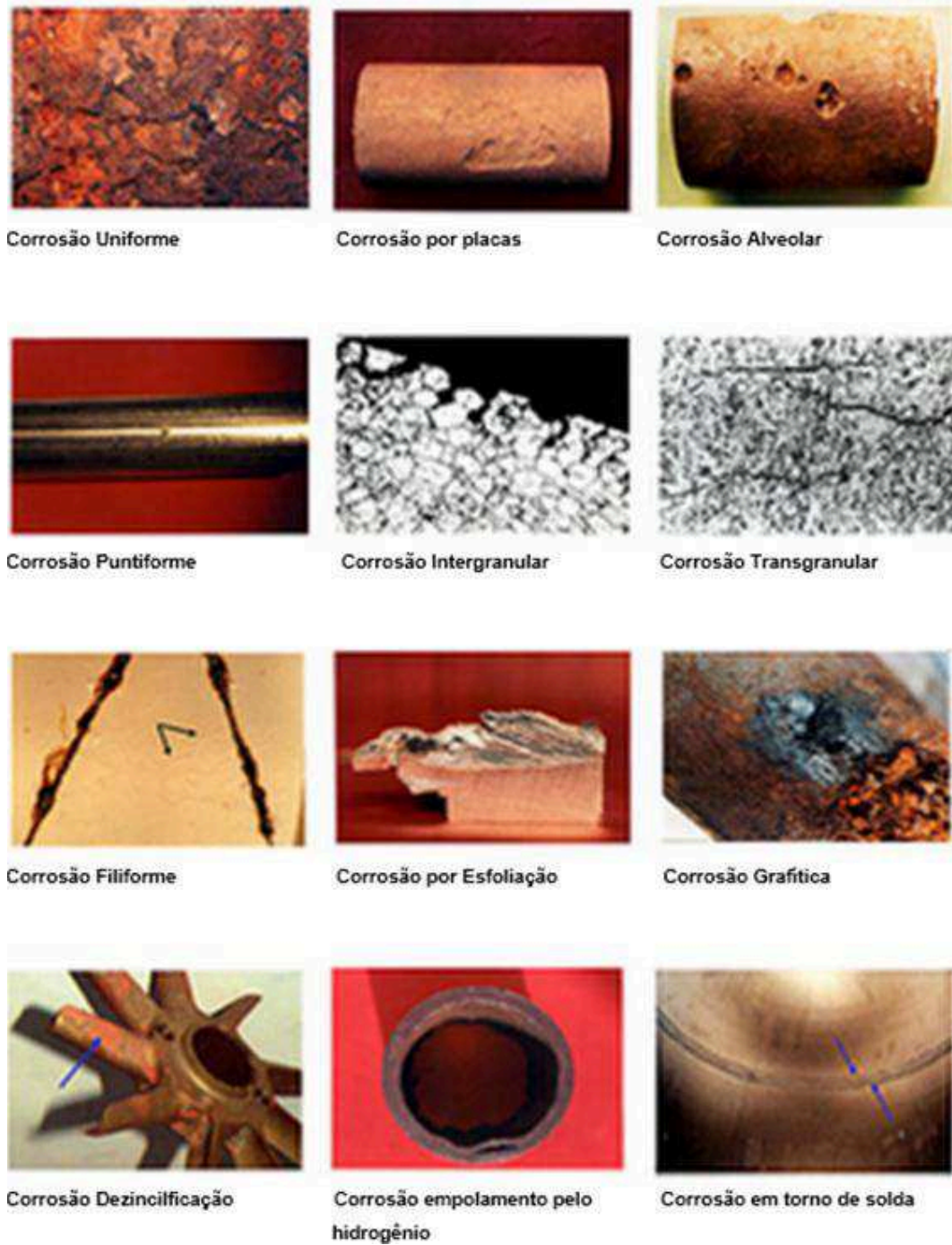


Figura 16: Imagens: Tipo de Corrosão

(Fonte: site http://eliettratamentodemetais007.blogspot.com.br/2013/01/blog-post_6590.html#!/2013/01/blog-post_6590.html - acesso em 11/2013).

11. CONCLUSÃO

Através das pesquisas realizadas para a execução deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) percebe-se que a corrosão e trincas podem e vão acontecer em todos os metais, metálicos ou não. Pode-se observar que a corrosão e trincas estará em lugares onde nem imaginamos ou mesmo suspeitamos, e é por conta disso que elas tornam-se tão perigosas e sorrateiras, tentando destruir a todo momento o que o homem construiu. Pode-se evitar de todas as formas, porém a corrosão sempre vai achar um meio de degradar os materiais, tentando voltar ao seu estado mais natural, o minério.

Com as informações adquiridas nesta pesquisa pude desenvolver um circuito para a identificação da corrosão pela diminuição de seção e trincas para metais e materiais compostos. Os circuitos foram elaborados para identificar mudanças na resistência ôhmica e mostrar essas diferenças, com uma comparação entre o estado sem corrosão até estar em estado corroído.

Pode-se identificar uma corrosão e trincas em algumas peças ou parte estrutural onde não se tem acesso ou lugares de difícil acesso, o circuito mostrou-se favorável neste tipo de detecção pois não necessita de uma preparação prévia para a medição. O circuito mostra-se ainda mais favorável em ambientes marinhos onde a corrosão torna-se mais acentuado e um controle da corrosão torna-se e extremamente importante.

12. REFERÊNCIAS

CLASSROOM Training Handbook, CT-6-5, “Nondestructive Testing, Eddy Current,”(General Dynamics Convair, SanDiego) 1979;

CORROSÃO GALVÂNICA, disponível em:

<https://sites.google.com/site/scientiaestpotentiaplus/corrosao/corrosao-galvanica> acessado em outubro de 2013;

CORROSÃO, disponível em:

[http://books.google.com.br/bkshp?hl=pt-](http://books.google.com.br/bkshp?hl=pt-BR&tab=wp&ei=U3RuUsCCI7Oo4APR34HABg&ved=0CBAQqS4oDQ)

[BR&tab=wp&ei=U3RuUsCCI7Oo4APR34HABg&ved=0CBAQqS4oDQ](http://books.google.com.br/bkshp?hl=pt-BR&tab=wp&ei=U3RuUsCCI7Oo4APR34HABg&ved=0CBAQqS4oDQ) acessado em outubro de 2013;

FONTANA, M. G.; Greene, N. D.; Corrosion Engineering. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc, 1967;

GEMELLI, Enori, Corrosão de materiais e sua caracterização, São Paulo: Editora LTC, Ltda 2001;

GENTIL, Vicente, Corrosão: uma abordagem Geral, São Paulo: Editora LTC, Ltda 2010;

IMAGEM BARRA DE ANODO DE SACRIFÍCIO, disponível em:

<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAkaAAG/corrosao-quimica?part=3> acessado em maio de 2014;

IMAGEM TIPOS DE CORROSÃO, disponível em:

http://elietetratamentodemetais007.blogspot.com.br/2013/01/blog-post_6590.html#!/2013/01/blog-post_6590.html - acesso em 11/2013 acessado em outubro de 2013;

LEITE, Paulo G.P, “Curso de Ensaios Não Destrutivos”, 8a. edição, Associação Brasileira de Metais-ABM, 1966

MANUTENÇÃO DE SUPRIMENTOS, disponível em:

<http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/7626-o-que-significa-uniao-dieletrica/> acessado em outubro de 2013;

METALS Handbook, Surface Engineering. Vol. 5, ASM International;

NETTO, Azevedo, Manual de Hidráulica, Ed. Blucher- São Paulo, 1999;

SENAI, "Soldagem", São Paulo, SP, 1997;

SENAI, Corrosão, São Paulo, SP, 1999;

STACHOWIAK, G.W., BATCHELOR, A.W. Engineering Tribology ASM Metals Handbook Vol. 18;

TRATAMENTO DE METAIS, disponível em:

http://elietetratamentodemetais007.blogspot.com.br/2013/01/blog-post_6590.html#!/2013/01/blog-post_6590.html acessado em outubro de 2013;

INSPEÇÃO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO, disponível em:

<http://www.cpqd.com.br/tags/linhas-de-transmissao> acessado em Julho de 2013

Autorizo cópia total ou parcial desta obra, apenas para fins de estudo e pesquisa, sendo expressamente vedado qualquer tipo de reprodução para fins comerciais sem prévia autorização específica do autor.

André Herman

Taubaté, 07/2016.