

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE PINDAMONHANGABA

**ESTUDO SOBRE A CORROSÃO E O MÉTODO
DE PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO EM AÇO
SAE 1020**

Matheus Kessler Antunes

Monografia apresentada à faculdade de tecnologia de Pindamonhangaba para graduação no Curso Superior de Tecnologia em Metalurgia.

**Pindamonhangaba - SP
2010**

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE PINDAMONHANGABA

**ESTUDO SOBRE A CORROSÃO E O MÉTODO
DE PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO EM AÇO
SAE 1010/20**

Matheus Kessler Antunes

Monografia apresentada à faculdade de tecnologia de Pindamonhangaba para graduação no Curso Superior de Tecnologia em Metalurgia.

Orientador: João Mauricio Godoy

**Pindamonhangaba - SP
2010**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos que me ajudaram, aos meus queridos colegas de estudo, aos
excelentes professores, aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao Maciel da empresa Mashit, que fez o tratamento superficial das amostras.

Ao senhor Michel Ramos Rocha da empresa Gerdau que disponibilizou o uso de ferramentas para a confecção das amostras.

Ao meu querido orientador e amigo Prof. João Mauricio Godoy.

A todos excelentes professores que contribuíram para o meu crescimento intelectual.

Muito obrigado a todos!

“E disse Deus: Haja luz. E houve luz.”

Gênesis 1.3

ANTUNES, M.K. **Estudo sobre a corrosão e o método de proteção contra a corrosão em aço SAE 1020.** Pindamonhangaba, 2011. **39 páginas.** Monografia. Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba.

RESUMO

O aço ao carbono com 0,2% de carbono em peso é utilizado em eixos, peças para cementação, arames, uniões soldadas devido a sua boa soldabilidade, e outros. Essas peças costumam corroer devido à exposição à atmosfera urbana, marinha e até mesmo a rural.

Um tratamento de superfície usado para evitar ou desacelerar o processo de corrosão é a zincagem. Neste trabalho foi estudado se a zincagem realmente é um método de proteção a corrosão eficiente comparando-se com a fosfatização que cria uma camada superficial de fosfato de ferro com propriedades que aumentam a aderência de tintas e óleos, mas oferece baixa proteção contra corrosão.

Para isso foi realizado um ensaio de *Salt Spray* expondo as amostras a uma atmosfera corrosiva e comparando os resultados através de pesagens foi constatada a efetividade da zincagem em comparação com a fosfatização como método protetivo contra corrosão.

Antunes, MK **Study on the method of corrosion and corrosion protection of steel SAE 10120**. Pindamonhangaba, 2010. 39 pages. Monograph. Faculty of Technology Pindamonhangaba.

ABSTRACT

The carbon steel with 0.2% carbon by weight is used in axles, parts for cementing, wires, solder joints because of its good weldability, and others. These pieces tend to erode due to exposure to the urban atmosphere, ocean and even the countryside.

A surface treatment used to prevent or slow down the corrosion process is zinc. In this work we studied whether the zinc is actually a method of corrosion protection efficiency compared with the phosphate that creates a surface layer of iron phosphate with properties that enhance the adhesion of paints and oils, but offers little protection against corrosion.

To this was accomplished a spondee Salt Spray test samples to a corrosive atmosphere and comparing the results was verified by weighing the effectiveness of the zinc phosphate coating in comparison with the method as protective against corrosion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Pilha Eletroquímica	5
Figura 2: Formas de corrosão	8
Figura 3: aço1020 fosfatizado aumento de 50 vezes. Centro da amostra.....	19
Figura 4: aço1020 galvanizado aumentado 50 vezes. Marcas de Usinagem	19
Figura 5: Amostras após 18h no <i>Salt Spray</i>	21
Figura 6: Amostras zincadas após 96 horas no <i>Salt Spray</i>	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Taxa de corrosão em aço galvanizado em diferentes atmosferas de países temperados e de São Paulo	10
Tabela 2 - Influencia dos elementos nos aços-carbono	14
Tabela 3: Composição química do aço SAE 1020	19
Tabela 4:Tabela usada para definição de critérios para classificação de taxas de corrosão	23

SUMÁRIO

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 Corrosão	1
1.1.1 Conceitos	3
1.1.2 Formas de corrosão.....	5
1.2 Revestimentos.....	9
1.2.1 Imersão a quente.....	9
1.2.2 Fosfatização	10
1.3 Aços Carbono	12
1.3.1 ELEMENTOS PREJUDICIAIS AO AÇO RESULTANTES DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO.	14
1.3.2 A identificação dos aços	15
1.4 ZINCO.....	16
2 - Materiais e métodos	17
2.1 - Materiais.....	17
2.1.1 – Equipamentos	17
2.2 – Métodos	18
2.2.1 – Metodologia empregada na fabricação das amostras	18
2.2.2 Ensaio de corrosão.....	20
2.3 Características da camada corroída	20
3. Resultados e discussão	21
4. Conclusão	24
BIBLIOGRAFIA SELECIONADA	26

OBJETIVOS

Este trabalho de graduação tem por objetivo comparar dois métodos de proteção à corrosão no aço SAE 1020, que é o material usado em peças mecânicas, eixos, partes soldadas, conformadas ou cementadas, arames em geral, parafusos.

Um dos processos a ser realizado será a zincagem e o outro será a fosfatização; e a comparação dos métodos será feita avaliando a resistência à corrosão através do ensaio de “*salt spray*”.

JUSTIFICATIVA

A corrosão na indústria em geral significa perdas de dinheiro, de tempo, de mão de obra, de energia, entre outros, veja alguns exemplos.

- A substituição de peças ou equipamentos que sofreram corrosão, incluindo-se energia e mão de obra.
- Os custos e a manutenção dos processos de proteção. (proteção catódica, pinturas, etc.).

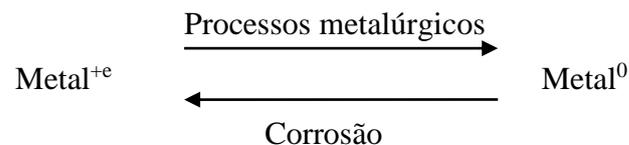
No caso dos parafusos, estes não representam custo muito alto para substituição, mas deve se levar em conta questões como segurança, e tempo de troca devido à corrosão.

Portanto, levando-se em consideração esses fatores, avaliou-se neste trabalho o método de proteção a corrosão que melhor garante proteção à corrosão.

INTRODUÇÃO

A corrosão pode ser definida como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos.

A corrosão faz o metal voltar ao seu estado termodinamicamente mais estável, que é o minério, com exceção de alguns metais mais nobres como, por exemplo, ouro, prata, platina, etc.



A transformação do minério para metal é realizada por processos que envolvem muita energia e grandes custos.

O material usado neste trabalho de graduação é o aço SAE 1010/20, que possui aproximadamente 0,2 % C, também conhecido como aço doce, ou aço com baixo teor de carbono, e deve possuir boas propriedades mecânicas como dureza resistência a tração e boa estrição para confecção de parafusos, buchas, flanges, etc.

Os parafusos, elementos de fixação não permanente que são feitos de aço SAE 1020 e não recebem tratamento superficial sofrem corrosão e quando isso ocorre há perda de propriedades mecânicas importantes como elasticidade e ductilidade naquele ponto de fixação.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 Corrosão

A corrosão é em geral um processo espontâneo, e, não fora o emprego de mecanismos protetores, ter-se-ia a destruição completa dos materiais metálicos, já que os processos de corrosão são reações químicas e eletroquímicas que se passam na superfície do metal e obedecem a princípios bem estabelecidos. O fato de a corrosão ser, geralmente, uma reação de superfície faz supor que ela possa ser controlada pelas propriedades dos produtos de corrosão. (GENTIL,2003.)

O produto de corrosão é o resultado da reação entre o metal e o meio corrosivo e que vai se depositando na região onde ocorre a corrosão, formando uma barreira entre o metal e o meio corrosivo e diminuindo assim a velocidade da corrosão e às vezes parando a reação. Assim sendo se o produto de corrosão for removido a velocidade da corrosão tende a não diminuir. Isso ocorre quando se formam produtos de corrosão solúveis. Há também o produto de corrosão chamado de filme compacto e não-compacto. (GENTIL, V. 2003)

Nos filmes compactos, principalmente os óxidos, há a formação de uma barreira eletroquímica entre o metal e o meio corrosivo, protegendo o metal, isso acontece com o alumínio que possui um filme compacto de óxido de alumínio (Al_2O_3) na sua superfície, esse filme é chamado de filme passivado. Nesse caso a velocidade da corrosão é praticamente nula. (GENTIL, V. 2003)

Os filmes não-compactos não protegem os metais, apenas diminuem a velocidade de corrosão, isso se deve ao fato de em certas condições o produto de corrosão se precipitar sobre a superfície em forma de hidróxidos ou sais. (GENTIL, V. 2003)

Todos os metais estão sujeitos ao ataque corrosivo se o meio for suficientemente agressivo. Assim:

- O ouro e a platina são praticamente inatacáveis nos meios corrosivos comuns, mas não são resistentes, por exemplo, a ação da mistura de ácido clorídrico, HCl, e ácido nítrico, HNO₃, que constitui a água-régia;
- O aço inoxidável AISI 304, embora sendo bastante resistente a vários meios corrosivos, sofre corrosão localizada em presença do íon cloreto;
- O alumínio, embora possa resistir aos ácidos oxidantes como o nítrico, não resiste ao ácido clorídrico e as soluções aquosas de bases fortes como, por exemplo, hidróxido de sódio;
- O alumínio é rapidamente corroído em presença de mercúrio ou sais de mercúrio;
- O cobre e suas ligas sofrem corrosão acentuada em presença de soluções amoniacais e em ácido nítrico;
- O titânio sofre corrosão em ácido fluorídrico, embora seja resistente a outros meios ácidos. (GENTIL, V. 2003)

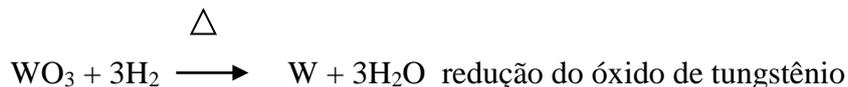
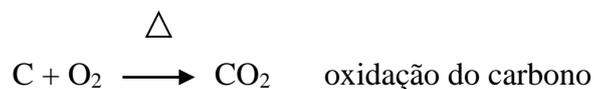
Tendo conhecimento dessas características devemos sempre conhecer o material metálico, o meio corrosivo e as condições operacionais. Quando se fala em corrosão é importante lembrar-se de algumas matérias que são de fundamental importância para se entender os processos eletroquímicos envolvidos na corrosão, como: oxidação-redução e pilha-eletroquímica. (GENTIL, V. 2003)

1.1.1 Conceitos

1.1.1.1 Oxi-redução

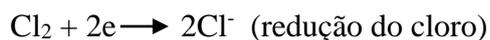
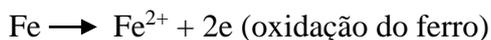
Oxi-Redução: Antigamente oxidação era definida como o ganho de oxigênio por uma substância e redução à retirada de oxigênio.

Exemplo:



Hoje oxidação e redução podem ser definidas como ganho ou perda de elétrons.

Exemplo:



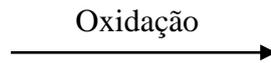
Ou, pode ser ainda definida através do número de oxidação. Através desse método oxidação é o aumento do número de oxidação e redução é a diminuição do número de oxidação.

Redução

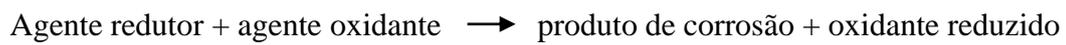


Número de ... -5 -4 -3 -2 -1 0 +1 +2 +3 +4 +5 ...

Oxidação



Então generalizando, tem-se que basicamente a reação de corrosão é:



1.1.1.2 Pilha eletroquímica

Uma pilha eletroquímica é um sistema composto de dois eletrodos em contato através de um condutor e geralmente imersos em um eletrólito (condutor iônico). Cada componente tem a seguinte função:

- Anodo: eletrodo no qual ocorre oxidação, (corrosão) e onde a corrente elétrica, na forma de íons, metálicos positivos, entra no eletrólito.
- Eletrólito: é usualmente um líquido, contendo íons que transportam a corrente elétrica do anodo para o catodo.
- Catodo: eletrodo onde a corrente elétrica sai do eletrólito ou é onde são consumidos as cargas negativas provocando a reação de redução.

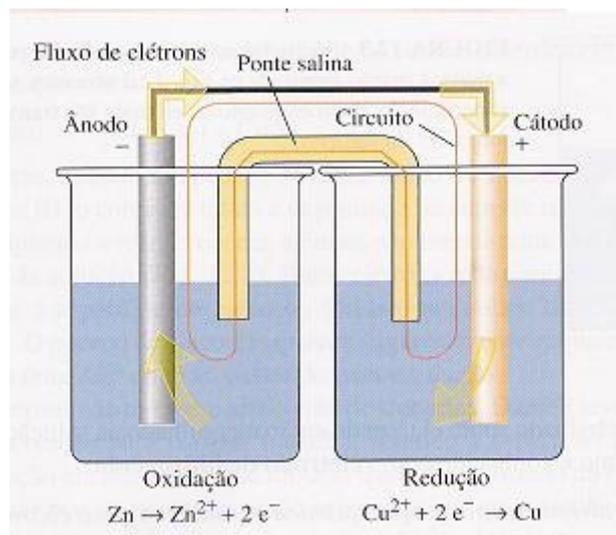


Figura 1 – Pilha Eletroquímica

1.1.2 Formas de corrosão

Os processos de corrosão são considerados reações químicas heterogêneas, onde a reação química ocorre sobre as interfaces e não pode se processar se as fases não estiverem em contato.

Considerando-se oxidação-redução todas as reações químicas que consistem em ceder ou receber elétrons, podem-se considerar os processos de corrosão como reações de oxidação dos metais, isto é, o metal age como redutor, cedendo elétrons que são recebidos por uma substância, o oxidante, existente no meio corrosivo. Logo, a corrosão é um modo de destruição do metal, progredindo através da sua superfície. (GENTIL, 2003)

A corrosão pode ocorrer de diversas formas e o estudo das formas de corrosão é muito importante, as formas de corrosão estão separadas em subgrupos:

- Morfologia: uniforme, por placas, alveolar, puntiforme ou por pite, intergranular (ou intercrystalina), intragranular (ou transgranular ou transcrystalina), filiforme, por esfoliação, grafitica, dezincificação, em torno do cordão de solda e empolamento por hidrogênio;
- As causas ou mecanismos: por aeração diferencial, eletrolítica ou por correntes de fuga, galvânica, associada a solicitações mecânicas (corrosão sob tensão fraturante), em torno do

cordão de solda, seletiva (grafítica e dezincificação), empolamento ou fragilização pelo hidrogênio;

- Fatores mecânicos: sob tensão, sob fadiga, por atrito, associada à erosão;
- Meio corrosivo: atmosférica, pelo solo, induzida por micro organismos, pela água do mar, por sais fundidos, etc.;
- Localização do ataque: por pite, uniforme, intergranular, transgranular, etc. (GENTIL, V. 2003)

O estudo dos tipos de corrosão nos permite saber quais os melhores métodos de proteção para aquela determinada aplicação. O estudo da morfologia nos ajuda muito a entender as características fundamentais das diferentes formas de corrosão:

Uniforme: a corrosão se processa em toda a extensão da superfície, ocorrendo perda uniforme de espessura. A seleção correta dos materiais ou de métodos de proteção adequados são os meios mais comuns de se controlar este tipo de ataque. (GENTIL, V. 2003)

Por placas: a corrosão se localiza em regiões da superfície metálica e não em toda sua extensão, formando placas com escavações. (GENTIL, V. 2003)

Alveolar: a corrosão se processa na superfície metálica produzindo sulcos ou escavações semelhantes a alvéolos apresentando fundo arredondado e profundidade geralmente menor que seu diâmetro. (GENTIL, V. 2003)

Puntiforme ou por pite: a corrosão por pites é um ataque localizado de uma superfície e manifesta-se pela formação de pequenas cavidades que variam de alguns micrometros a alguns milímetros. (GENTIL, V. 2003)

Intergranular: é um tipo de ataque seletivo em contorno do grão, o qual é particularmente perigoso, pois embora a quantidade de metal oxidado seja pequena as características mecânicas são alteradas pelas fissuras produzidas em profundidade. (GENTIL, V. 2003)

Transgranular: a corrosão acontece diretamente através dos grãos da rede cristalina que também tem suas propriedades mecânicas alteradas podendo sofrer corrosão sob tensão fraturante. (GENTIL, V. 2003)

Filiforme: a corrosão acontece na forma de filamentos, mas com pouca profundidade, que se propagam em diferentes direções e nunca se cruzam porque o produto de corrosão apresenta carga positiva e se repelem. (GENTIL, V. 2003)

Corrosão gráficas: a corrosão acontece geralmente no ferro fundido e em temperatura ambiente. A parte ferrosa da liga é consumida na corrosão restando apenas o carbono. (GENTIL, V. 2003)

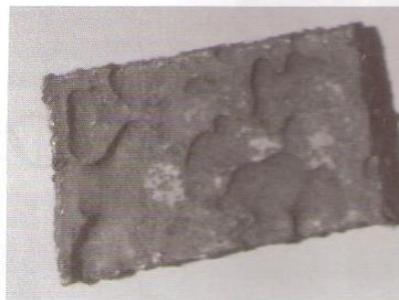
Dezincificação: corrosão que ocorre em ligas de cobre-zinco, também conhecido como latão. Ocorre corrosão preferencial do zinco. (GENTIL, V. 2003)

Empolamento pelo hidrogênio: Ocorre onde o hidrogênio entra no material e em regiões com vazios começa a se acumular formando hidrogênio molecular, H₂, ocorrendo a formação de bolhas e gerando tensões internas no material. (GENTIL, V. 2003)

Em torno do cordão de solda: Ocorre em torno do cordão de solda e ocorre em aços inoxidáveis não estabilizados ou com teores de carbono maiores que 0,03% e a corrosão se processa intergranularmente. (GENTIL, V. 2003)



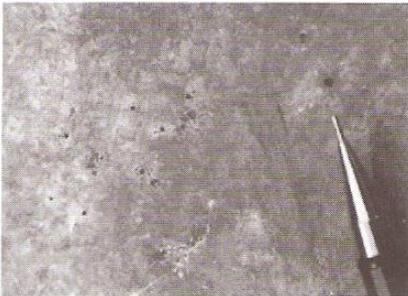
Uniforme



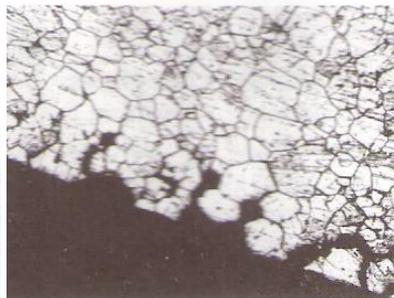
Em placas



Alveolar



Puntiforme (pite)



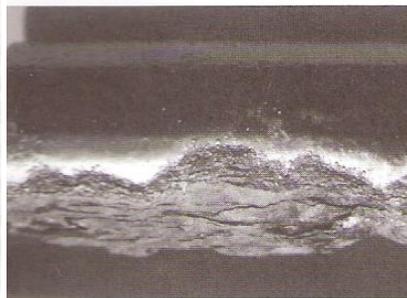
Intergranular



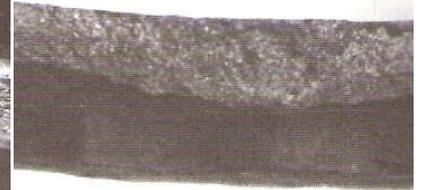
Transgranular



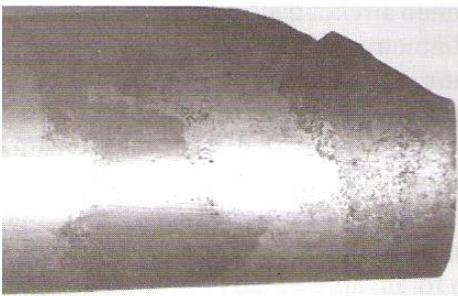
Filiforme



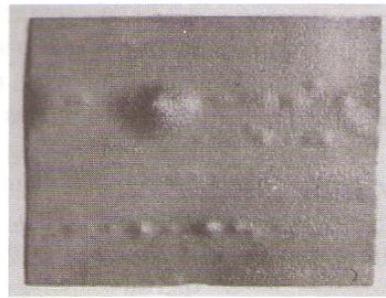
Por esfoliação



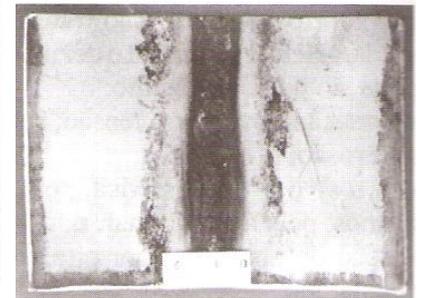
Gráfica



Dezincificação



Empolamento pelo hidrogênio



Em torno de solda

Figura 2 – Formas de corrosão (GENTIL, V. 2003)

1.2 Revestimentos

1.2.1 Imersão a quente

É o revestimento metálico que se obtém por imersão do material metálico em um banho de metal fundido é um processo muito usado para revestimento de aço com estanho, com cobre, com alumínio e com zinco.

No caso do zinco o processo é conhecido como zincagem por imersão a quente, obtendo-se o aço galvanizado. A zincagem por imersão a quente é o tratamento que tem por finalidade a obtenção de uma camada de zinco sobre uma peça de ferro ou aço. O principal objetivo da zincagem é impedir o contato do metal-base com o meio corrosivo. A proteção pelo uso de zinco consiste em combinar o zinco com o ferro, resultando no zinco como anodo e o ferro como cátodo, prevenindo assim a corrosão do ferro, uma vez que o zinco atua como uma barreira protetora evitando a entrada de água e ar atmosférico, além de sofrer corrosão antes do ferro, garantindo a peça uma maior durabilidade, já que a corrosão do zinco é de 10 a 50 vezes maior que no ferro em áreas industriais e rurais, e de 50 a 350 vezes em áreas marinhas. (GENTIL, V. 2003)

Quando a peça de aço é mergulhada em um banho de zinco, existe um período inicial de segundos ou minutos, que é em função das dimensões da peça, em que o aço é trazido até a temperatura do banho. Ao ser alcançada essa temperatura, ou próximo dela, forma-se uma camada aderente de liga de zinco-ferro na superfície do aço e outra de zinco puro. Ambas as camadas contribuem para a capacidade de resistência à corrosão e para a vida útil do revestimento aplicado. A galvanização é um sistema com boa resistência a corrosão, sendo essa a principal razão de seu emprego, representando mais da metade do consumo mundial de zinco. (GENTIL, 2003) A tabela a seguir apresenta as taxas de corrosão de aço galvanizado em ensaios realizados em São Paulo e em países de clima temperados.

Tabela 1 – Taxa de corrosão em aço galvanizado em diferentes atmosferas de países temperados e de São Paulo (GENTIL, V. 2003)

Atmosfera	Países de Climas Temperados ($\mu\text{m}/\text{ano}$)	São Paulo, Brasil ($\mu\text{m}/\text{ano}$)
Rural	0,16-1,58	0,7-0,9
Urbana	1,11-2,37	1,1-1,3
Industrial	0,77-10,15	2,3-2,6
Marinha	0,63-15,57	1,6(a 1km do mar)

No mundo todo, milhões de toneladas de materiais ferrosos passam por esse processo anualmente. Torres de transmissão, suportes aéreos para eletrificação, sistemas de sustentação de pontes, sistemas de refrigeração, são exemplos de estruturas e peças que dependem da zincagem por imersão a quente para a proteção contra a corrosão.

O processo de zincagem a quente foi patenteado por volta de 1830 na França e na Inglaterra, e em 1850 na Alemanha e nos Estados Unidos da América. Desde então, desenvolveu-se cada vez mais, expandindo-se para outras partes do mundo.

1.2.2 Fosfatização

A fosfatização permite a aplicação de fosfatos (que nada mais é do que um ion formado por um átomo de fósforo ligado ao oxigênio, oxidando o fósforo) sobre diversos materiais metálicos como, por exemplo: ferro, alumínio, zinco.

No ramo da metalurgia a fosfatização deposita um fosfato insolúvel sobre a superfície metálica modificando suas propriedades superficiais. É utilizada como preparação de superfícies para pinturas e outros revestimentos e também aumentando a retenção de lubrificantes na superfície do metal para operações de deformação.

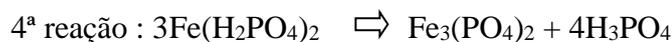
Quando um metal é imerso no banho fosfatizante, ter-se-á um ataque ácido ao metal base devido a presença de íons de H⁺ (acidez livre) . Paradoxalmente, o processo de fosfatização se inicia com uma reação de corrosão



onde o ácido fosfórico atua apenas como agente corrosivo, formando o fosfato primário do metal (solúvel). Além disso, tem-se a formação de fosfatos secundários e terciários (insolúveis) que podem depositar-se sobre a superfície metálica



Partindo-se de uma solução contendo um fosfato primário metálico e ácido fosfórico livre, ter-se-á a seguinte reação:



O ferro foi usado só como exemplo, poderia o metal ser cádmio, zinco, manganês, etc. A passivação é um tratamento após fosfatização, necessário para se obter a desejada aparência, resistência a corrosão e outras propriedades. A importância desse tratamento deve-se ao fato dos recobrimentos fosfáticos terem, geralmente, uma porosidade de cerca de 0,5% em relação a superfície. A passivação consiste, basicamente, em se tratar a superfície, logo após fosfatizada, com soluções de ácido crômico ou de ácidos crômico e fosfórico, em concentrações na faixa de 0,02% (massa/volume) e em temperaturas em torno de 60°C. Seu mecanismo de ação consiste

não só na redução da área livre, dos poros, como também passivador da superfície metálica exposta, pois experiências de laboratório permitem afirmar que este tipo de tratamento exalta o valor protetor da camada.

1.3 Aços Carbono

Antes mesmo de conhecer o ferro, o homem já conhecia ao menos uma liga metálica: o bronze. Por observação, ele percebeu que a “mistura” de dois metais melhorava o desempenho do metal que estava em maior quantidade.

O que ele não sabia direito era o que acontecia lá dentro e, portanto, porque era possível misturar os metais entre si e com outros elementos de tal forma que um ficava dissolvido dentro do outro.

(SENAI)

As ligas metálicas são as misturas de dois ou mais elementos químicos, dos quais pelo menos um é metal, e possuindo propriedades metálicas.

O aço é uma liga de ferro carbono que forma uma solução sólida intersticial onde os átomos menores de um elemento, no caso o carbono, se localizam entre os espaços vazios, chamados de interstícios, de átomos maiores como o ferro. Num fenômeno conhecido como alotropia o ferro a uma temperatura superior a 912°C muda sua estrutura cristalina de cúbica de corpo centrado para cúbica de face centrada e aparece um espaço vazio no centro da estrutura e conseqüentemente o local em que se acomoda o átomo de carbono.

Abaixo dessa temperatura a estrutura existente cúbica de corpo centrado os espaços são muito pequenos dificultando a acomodação do átomo de carbono na estrutura do ferro.

O aço ao carbono possui uma concentração aproximada de 0,008% até 2,14% de carbono em peso e outros elementos residuais que ficam no material metálico após o processo de fabricação. Esses elementos residuais são o manganês, o enxofre, o fósforo e o silício.

O manganês é a impureza encontrada em maior quantidade no aço (até 1,165%) ele é adicionado para auxiliar na desoxidação do metal líquido e para neutralizar o efeito nocivo do enxofre. Nesse processo, ele se combina com o enxofre e forma o sulfeto de manganês (MnS), isso aumenta a forjabilidade do aço, a temperabilidade, a resistência ao choque e o limite de escoamento. Em quantidades maiores, ele se combina com parte do carbono e forma o carboneto de manganês (Mn₃C), que é muito duro. Isso diminui a ductibilidade do aço.

O fósforo é um elemento cuja quantidade presente no aço deve ser controlada, principalmente, nos aços duros, com alto teor de carbono. Quando ultrapassa certos limites, ele faz o aço ficar mais duro ainda e, por isso mais frágil a frio. Isso quer dizer que a peça de aço, com valores indesejáveis de fósforo, pode quebrar facilmente quando usada em temperatura ambiente, porque forma um composto que se funde a uma temperatura muito menor (1.000°C) que a do ferro (1538°C). Em aços de baixo carbono, por outro lado, seu efeito nocivo é menor, pois nesse caso o fósforo auxilia no aumento da dureza e também aumenta a resistência à tração, a resistência à corrosão e a usinabilidade.

O enxofre é uma impureza muito difícil de ser eliminada. No aço, ele pode se combinar com o ferro e formar o sulfeto ferroso (FeS) que faz o aço se romper com facilidade ao ser laminado, forjado ou vergado em temperaturas acima de 1.000°C. Assim, o teor máximo de enxofre permitido é de 0,05%.

O silício é acrescentado ao metal líquido, para auxiliar na desoxidação e impedir a formação de bolhas nos lingotes. Ele está presente, no aço, em teores de até 0,6%, e não tem grande influência sobre suas propriedades.

Os elementos residuais no aço têm influência no desempenho do aço e por isso tem suas quantidades severamente controladas. Veja a tabela a seguir:

Tabela 2 - Influencia dos elementos nos aços-carbono(SENAI)

Elemento	Influencia dos elementos nos aços-carbono.
Manganês (Mn)	Em aços com pouco carbono, a presença do manganês em pequenas porcentagens, torna-os mais dúcteis e maleáveis. Em aços ricos em carbono o manganês endurece-os e aumenta-lhes a resistência ao choque.
Silício (Si)	Contribui para o aumento da dureza e da tenacidade. O silício evita a porosidade e influi para que não apareçam falhas ou vazios na massa do aço.
Fósforo (P)	É prejudicial em teores elevados, pois torna o aço frágil e quebradiço. A presença deve ser reduzida ao mínimo possível, já que não se pode eliminá-lo por completo.
Enxofre (S)	É prejudicial ao aço tornado-o granuloso e áspero, devido aos gases que produz na massa metálica. O enxofre enfraquece a resistência do aço e deve ser reduzido ao mínimo.

1.3.1 ELEMENTOS PREJUDICIAIS AO AÇO RESULTANTES DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO.

- Estanho: o estanho é prejudicial ao aço causando fragilidade a frio, semelhante ao fósforo. Sua presença no aço se deve a presença de chapas soldadas ou estanhadas na sucata. O estanho origina superfícies defeituosas e frágeis nas peças trabalhadas a quente.

- Oxigênio: o oxigênio endurece o aço tornando-o frágil e menos tenaz. Durante o processo de fabricação adicionam-se elementos desoxidantes fazendo com que o oxigênio se torne inofensivo.
- Hidrogênio: o hidrogênio causa fragilidade e pode ser eliminado através de desgaseificação.

1.3.2 A identificação dos aços

Dada a grande variedade de tipos de aço, criaram-se sistemas para sua classificação. Dentre esses sistemas de classificação, os mais conhecidos são dois, o American Iron and Steel Institute (AISI- Instituto Americano de Ferro e Aço) e o Society of Automotive of Engineers (SAE – Sociedade Automotiva de Engenheiros) além do sistema da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

A classificação é feita da seguinte forma:

- São designados quatro algarismos para designar os aços
- Os dois primeiros algarismos indicam o tipo e o teor aproximado dos elementos da liga
- Os dois últimos algarismos correspondem aos algarismos indicativos dos teores de carbono

A letra C (na classificação AISI) indica que o aço foi produzido pelo processo Siemens-Martin

- A letra E indica aço produzido em forno elétrico
- A letra B designa aço ao boro
- Quando o primeiro algarismo é 1, os aços são simplesmente aços-carbono desprezando-se seus teores mínimos de manganês, silício, fósforo, e enxofre. Nesse caso os teores são considerados iguais a zero.

Exemplo:

Quando o primeiro algarismo for:

- 2 - Trata-se de aço ao níquel
- 3 - Trata-se de aço ao níquel-cromo
- 4 - Trata-se de aço ao molibdênio
- 5 - Trata-se de aço ao cromo
- 6 - Trata-se de aço ao cromo-vanádio
- 7 - Trata-se de aço ao tungstênio
- 8 - Trata-se de aço ao níquel-cromo-molibdenio
- 9 - Trata-se de aço ao silício-manganês

Por exemplo, o aço 1045, é um aço ao carbono com aproximadamente 0,45% de carbono.

Exemplo: SAE 1045

- 1 ⇨ indica o tipo de aço (aço carbono)
- 0 ⇨ indica o grupo dentro do tipo (aço comum)
- 45 ⇨ indicam o teor médio de carbono (0,45% de carbono aproximadamente)

1.4 ZINCO

O zinco é um metal branco azulado e é o que tem o maior coeficiente de dilatação térmica entre os metais(0,000029/°C). Possui densidade 7.1, dureza Brinell de 30 a 40, resistência à tração 16kg/mm², funde a 419°C. As ligas de Zinco podem ser divididas em dois grupos: aquelas em que a porcentagem dos outros elementos de liga é inferior a 1%, ou seja, mais de 99% de zinco e, aquelas nas qual a porcentagem de outros elementos é superior a 1%.

O zinco metálico é usado na produção de ligas ou na galvanização de estruturas de aço. Utiliza-se a galvanização para proteger estruturas de edifícios ou partes constituintes de automóveis e barcos. O zinco pode também ser um aditivo de certas borrachas e tintas. Uma das ligas mais importantes de zinco é o bronze, que consiste na mistura deste elemento com o cobre. O zinco pode ainda utilizar-se como eletrodo nas pilhas secas. Os principais compostos de zinco

são o óxido (ZnO), utilizado nas indústrias cerâmica e das borrachas e ainda na fabricação de tintas. O sulfato de zinco (ZnSO₄) tem aplicação na indústria têxtil e no enriquecimento de solos pobres em zinco. O cloreto de zinco é usado para preservar madeiras bem como desodorizante em diversos fluidos.

2 - Materiais e métodos

2.1 - Materiais

O material utilizado nas amostras neste trabalho é o aço SAE 1020, com a composição demonstrada na tabela abaixo:

Tabela 3: Composição química do aço SAE 1020

Aço SAE	C%	Mn%	Si%	P(máx)	S(máx)
1020	0,18 a 0,25	0,3 a 0,6	0,1 a 0,3	0,04	0,05

É um material com boa soldabilidade e usado em inúmeras aplicações, que vão desde parafusos, suportes, á buchas e flanges, mas possui baixa resistência a corrosão.

2.1.1 – Equipamentos

- câmara de salt spray
- microscópio eletrônico
- torno mecânico
- lixadeira
- serra(disco de corte)
- embutidora
- serra alje

2.2 – Métodos

2.2.1 – Metodologia empregada na fabricação das amostras

As amostras foram retiradas de um tarugo com 2” de diâmetro na serra alje, foram feitos cortes transversais a cada 10mm de comprimento aproximadamente. Após serem cortadas as amostras foram torneadas na velocidade de 315 RPM seguindo os seguintes cálculos:

$$Vc = \pi dn / 1000$$

$$60 = (3,14 * 50,8 * n) / 1000$$

$$(60 / 159,51) * 1000 = n$$

$n = 376$ rpm (Aproximou-se para 315 RPM, por ser a velocidade mais próxima no torno)

Onde:

Vc: Velocidade de corte, valor de referencia retirado da apostila de tecnologia aplicada II do SENAI

π : numero Pi é o numero irracional que representa a divisão entre uma circunferência e o diâmetro correspondente, com o valor aproximado de **3,1415**

n: Número de rotações por minuto

O avanço utilizado foi o de 0,2mm/rotação recomendados na tabela da apostila de tecnologia aplicada II do SENAI para aços com resistência até 500N/mm² (0,10% a 0,25%C) utilizando ferramenta de HSS (*High speed steel ou aço rápido*)

Após a confecção das 10 amostras, 5 foram galvanizadas por imersão a quente e 5 foram fosfatizadas. A espessura da camada de ambas as amostras é de aproximadamente 8 microns.

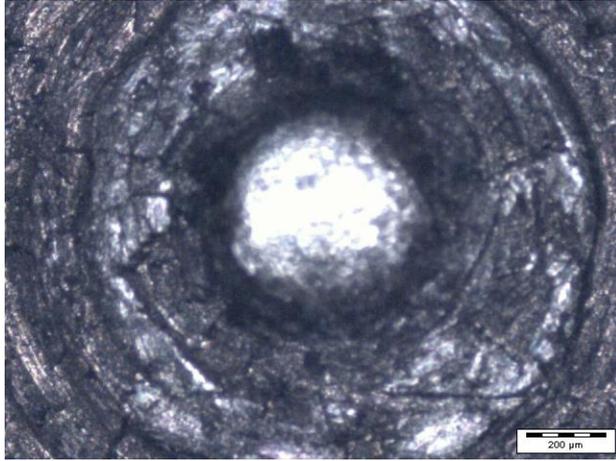


Figura 3: aço1020 fosfatizado aumento de 50 vezes. Centro da amostra.

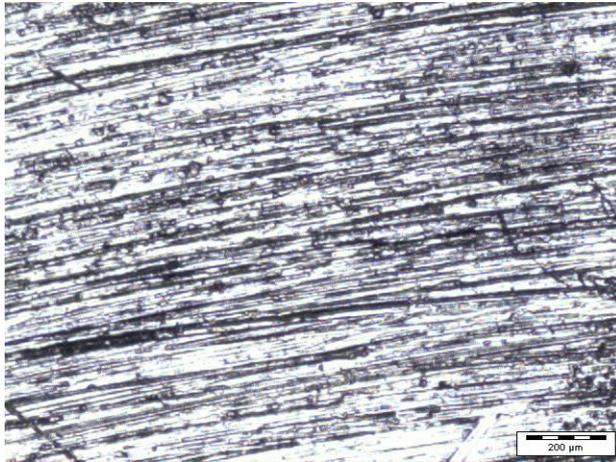


Figura 4: aço1020 galvanizado aumentado 50 vezes. Marcas de Usinagem.

2.2.2 Ensaio de corrosão

O experimento foi feito em uma câmara de névoa salina, também conhecida com *salt spray* comparando três amostras de cada. Os tempos de exposição foram de **18 e as amostras zincadas prosseguiram até 96** horas. Apenas 3 amostras fosfatizadas e zincadas foram submetidas a exposição em névoa salina nas seguintes condições:

- Solução: Cloreto de sódio a 5%.
- Temperatura do teste: 35 °C
- Duração: 18 horas e 96 horas
- 3 amostras de cada

As condições do ensaio seguem a norma ASTM B-117.

2.3 Características da camada corroída

As camadas reagiram com a névoa salina apresentando pontos de corrosão que com o decorrer do ensaio foram consumindo a camada protetora de forma generalizada.

A corrosão apresentou-se de forma semelhante em todas as amostras, de forma puntiforme e generalizada, porém o tipo de óxido depositado na superfície foi diferente.

Com cores diferentes como o óxido de zinco, de cor branca, resultado da corrosão da camada de zinco que foi feita por imersão a quente. Já nas amostras fosfatizadas o óxido na superfície é proveniente do próprio ferro, porque a camada fosfatizada não veda totalmente a superfície do material deixando poros que possibilitam as possíveis reações de corrosão originando o óxido de ferro de cor alaranjada também conhecida como ferrugem.

3. Resultados e discussão

As seis amostras após 18 horas do início do ensaio de *saltspray* já apresentavam corrosão na superfície, porém as amostras fosfatizadas a corrosão já toma conta de quase toda a superfície, como é demonstrado nas imagens abaixo:



Figura 5 – Amostras após 18h no *Salt Spray*

As amostras galvanizadas seguiram o ensaio até 96 horas.



Figura 6 – Amostras zincadas após 96 horas no Salt Spray

Foi verificado através da norma NACE – RP -07 -75, norma que estabelece o cálculo da taxa de corrosão das amostras, como sendo:

$$T = \frac{\Delta m \times 365 \times 1000}{Std}$$

T = Taxa de corrosão(mm/ano)

Δm = variação de massa em gramas (g)

S = Área exposta da superfície (mm²)

t = tempo de exposição (h)

d = densidade (g/cm³)

Usando esta fórmula foi feito o cálculo através das médias de perda de massa, já que eram muito próximas, das amostras para se conhecer a taxa de corrosão.

A perda de massa das amostras fosfatizadas após 18 horas foi de 0,63 gramas ou 630 miligramas. A área exposta nas amostras é constante de aproximadamente 2026 mm²; o tempo de

exposição das amostras fosfatizadas foi de 18 horas e a densidade do aço SAE 1020 é constante de 7.86 g/cm³.

Realizado os cálculos foi obtida uma taxa de corrosão de 0,8 mm/ano.

Já as amostras zincadas foram exposta a névoa salina durante 96 horas e sofreram um redução de massa de 2, 23 gramas apresentando uma taxa de corrosão de 0,53 mm/ano.

Tabela 4: Tabela usada para definição de critérios para classificação de taxas de corrosão

Intensidade	Uniforme	Pite
Baixa	< 0,025 mm/ano	< 0,305 mm/ano
Moderada	0,025 a 0,125 mm/ano	0,305 a 0,610 mm/ano
Severa	0,126 a 0,254 mm/ano	0,635 a 2,458 mm/ano
Muito severa	> 0,254 mm/ano	> 2,458 mm/ano

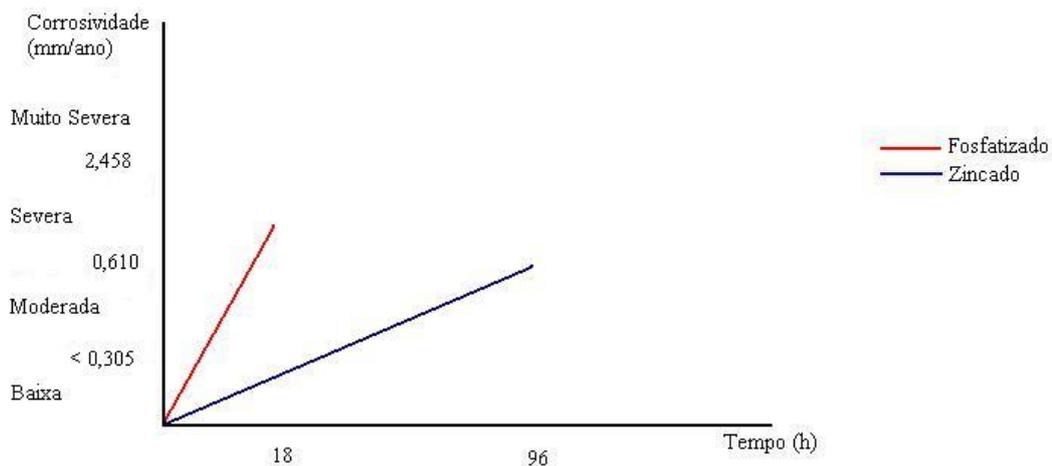


Gráfico 1: Corrosividade x Tempo

O gráfico apresenta no eixo x o tempo em horas e no eixo y a corrosividade em milímetros por ano. As amostras fosfatizadas após 18 horas de ensaio apresentam uma taxa de corrosão severa, enquanto as amostras fosfatizadas, apresentam uma taxa de corrosão baixa.

Portanto as amostras zincadas seguiram o ensaio até 96 horas na câmara de névoa salina. Após 96 horas as amostras zincadas apresentaram uma taxa de corrosão severa, de 0,53 mm/ano ainda abaixo dos 0,63 mm/ano apresentados nas amostras fosfatizadas.

4. Conclusão

Com base na literatura e nos feitos práticos, foi concluído que:

- Eficiência do método de proteção contra corrosão no aço SAE 1020 usando revestimento metálico de zinco por imersão a quente em comparação com o tratamento superficial de fosfatização na atmosfera corrosiva utilizada.
- O método de fosfatização sozinho não fornece proteção adequada contra a atmosfera corrosiva ao qual foi submetido devendo, como consta na literatura, um posterior tratamento como por exemplo pintura.

BIBLIOGRAFIA SELECIONADA

- [1] GENTIL, V. Corrosão, 2003, 4ª Edição
- [2] Kuchter, A. Tecnologia dos Metais, traduzido do russo por Anatóli Kutchúmovi, 1989
- [3] Fabio Domingos Pannoni, M. Sc., Ph.D, FUNDAMENTOS DA CORROSÃO
- [4] Romeiro, S. B. B. Química na Siderurgia, Área de Educação Química do Instituto de Química da UFRGS, 1997.
- [5] Magnabosco, R. Influência da microestrutura no comportamento eletroquímico do aço inoxidável UNS S31803 (SAF 2205). Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. São Paulo, 2001.
- [6] Chiaverini, V. Tecnologia Mecânica – Estrutura e Propriedades das Ligas Metálicas, 1977.
- [7] Ramanathan, L. V. Corrosão e seu controle
- [8] Gemelli, E. Corrosão de Materiais metálicos e sua caracterização
- [9] Leandro, C. TERMODINÂMICA METALÚRGICA III CINÉTICA TERCEIRO VOLUME, 22/7/2007 .
- [10] Sartori, A. Aula dada, Tipos de corrosão.
- [11] SENAI – Apostilas de Tecnologia aplicada e Tecnologia dos Materiais, 2006, 2ª edição.
- [12] <http://alinedorneles.blogspot.com/> Acessado em 22/05/2010
- [13] <http://pt.wikipedia.org/wiki/Cr%C3%B4mio> Acessado em 05/05/2010
- [14] <http://www.metalica.com.br/protecao-contracorrosao> Acessado em 13/05/2010