ESTUDO SOBRE CORROSÃO EM CHAPAS DE AÇO IF GALVANIZADAS

Thiago Barreto da Silva Amaral

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Tecnologia dos Materiais, Centro Federal de Educação Tecnologia Celso Suckow da Fonseca – CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica e Tecnologia dos Materiais.

Orientadora:

Cristiane Maria Basto Bacaltchuk

Rio de Janeiro

Agosto de 2016.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica e Tecnologia dos Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica e Tecnologia em Materiais

Thiago Barreto da Silva Amaral

Aprovada por:

_____

Presidente, Cristiane Maria Basto Bacaltchuk, Ph.D. (orientadora)

_____

Prof° Hector Reynaldo Meneses Costa, D. Sc.

_____

Prof° Gilberto Alexandre Castello Branco, Ph.D.

_____

Prof° José Brant de Campos, D.Sc. (UERJ)

Agosto de 2016.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

A485 Amaral, Thiago Barreto da Silva
Estudo sobre corrosão em chapas de aço IF galvanizadas / Thiago Barreto da Silva Amaral.—2016.
107f. : il.color. , grafs. , tabs. ; enc.

Dissertação (Mestrado) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca , 2016.
Bibliografia : f. 102-107
Orientadora : Cristiane Maria Basto Bacaltchuk

1. Aço – Corrosão. 2. Galvanização. 3. Engenharia mecânica. I. Bacaltchuk, Cristiane Maria Basto (Orient.). II. Título.

CDD 620.17

“Se não puder voar corra.
Se não puder correr, ande.
Se não puder andar, rasteje,
Mas continue em frente de qualquer jeito.”

Martin Luther King

A Deus, patrono de tudo e de todos,
Sempre único na minha vida
e auxiliando cada escolha e em
cada dificuldade no meu caminho.

AGRADECIMENTOS

Expresso meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, em especial:

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, pela oportunidade concedida de realizar o mestrado.

A minha orientadora, Cristiane Maria Basto Bacaltchuk, pelos ensinamentos, disponibilidade, apoio em todos os momentos e pela ótima orientação.

Aos Professores Hector Reynaldo Meneses Costa que como meu co-orientador ajudou imensamente a conclusão desse trabalho.

Aos professor do CEFET/RJ campus maracanã Gilberto Alexandre Castello Branco e aos professores do CEFET/RJ campus Nova Iguaçu, Vinicius Ribeiro do Santos de Sá e Brito, Fabricio Lopes e Silva e Bauer Bernardo pelo apoio durante a parte experimental desse trabalho.

Aos professores José Brant de Campos, Anilton Coelho da Costa e Ótavio Versiane Cabral pelo apoio e paciência em sanar todas as dúvidas durante a análise de alguns resultados.

As instituições Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) ao Instituto Militar de Engenharia (IME) e o Instituto Federal de Educação do Rio de Janeiro (IFRJ) que possibilitaram a realização desse trabalho.

Aos amigos Carlos, Felipe, Breno, Ramon e Igor que auxiliaram no sucesso desse trabalho com seus fundamentais conhecimentos nas áreas de mecânica e materiais.

Aos melhores consultores e amigos químicos do mundo, Guilherme Ferreira Luz, Tatiane Vianna Francisco e Raphael Pereira Sobrinho, por estarem sempre prontos para sanar e discutir comigo sobre as minhas dúvidas, dando um melhor direcionamento a conclusão desse trabalho.

A Companhia Siderúrgica Nacional (CNS), em especial ao senhor Marcio Luiz Almeida Cunha, por terem cedido o material para que essa dissertação e esse trabalho fossem realizados.

A todos os meus verdadeiros amigos que sempre estiveram torcendo muito pelas minhas conquistas

Aos meus familiares, pelo grande incentivo e apoio em todos os momentos. Um especial agradecimento aos meus pais Célio Antônio do Amaral e Maria da Conceição Silva do Amaral, e a minha avó Célia Novais do Amaral, que são, para mim, exemplos de sabedoria e dignidade, e as minhas irmãs e cunhados por todo carinho e cumplicidade em todos os momentos.

A minha noiva, Renata Cortes Correia, por toda a consideração, carinho, paciência e entendimento do quanto esse sonho se tornou importante para mim e por nunca ter deixado de me motivar e sonhar junto comigo, se tornando a cada dia e principalmente na conclusão dessa etapa uma pessoa muito importante na minha vida.

RESUMO

ESTUDO SOBRE CORROSÃO EM CHAPAS DE AÇO IF GALVANIZADAS

Thiago Barreto da Silva Amaral

Orientadora:

Cristiane Maria Basto Bacaltchuk

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica e Tecnologia dos Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – CEFET/RJ como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de mestre em Engenharia Mecânica e Tecnologia dos Materiais.

Esse trabalho teve como objetivo analisar, quanto a resistência a corrosão, chapas de aços IF galvanizadas de espessuras diferentes. O ensaio de névoa salina, seguiu as recomendações da ASTM B 117 e foi realizado com o objetivo de atacar e promover a formação de corrosão salina. As normas da ASTM determinam que esse ensaio seja conduzido de maneira continua. O diferencial desse trabalho consistiu em utilizar a norma ASTM B 117, seguindo todos os padrões recomendados pela mesma com exceção das temperaturas propostas e da maneira de fazê-lo, que foi intermitente ao invés de contínuo. Os resultados de corrosão produzidos pelo ensaio acelerado na câmara de névoa salina foram analisados usando as técnicas de microscopia ótica, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e difração de Raios – X. Através do MEV pudemos observar e concluir a diferença de galvanização nas chapas e o quanto as chapas mais finas (0,7mm) foram mais suscetíveis a corrosão do que as chapas com maior espessura(1,4). Este resultado pôde ser confirmado através de análise completar via microscopia ótica. Foi possível observar, através dos resultados de difração de Raios – X, a formação dos óxidos e cloretos formados durante a corrosão salina. Este trabalho mostrou que o ensaio cíclico consegue, com um tempo menor de exposição ao ambiente salino, resultados similares ao ensaio no modo contínuo, adicionando ainda o benefício do fator intemperismo.

Palavras chave:

Aço IF, Galvanização, Corrosão, Névoa salina.

Rio de Janeiro
Agosto de 2016

ABSTRACT

STUDY OF CORROSION IN STEEL PLATES IF GALVANIZADAS

Thiago Barreto da Silva Amaral

Advisor:

Cristiane Maria Basto Bacaltchuk

Master's Thesis Summary submitted to Mechanics Graduate Program in Engineering and Materials Technology of the Federal Center of Technological Education Celso Suckow da Fonseca - CEFET / RJ as part requisitis required to obtain a master's degree in Mechanical Engineering and Technology materials.

This work aims to analyze the resistance to salt corrosion of IF galvanized steel plates with different thicknesses. The salt spray test followed the ASTM B 117 recommendations and was conducted with the objective of etching and promoting the formation of saline corrosion. According to the ASTM standards this test should be in a continuous manner and the novelty of this work was to use the ASTM B 117, following all these standards excepting for the proposed temperatures and for the operation mode that was intermittently instead of continuos. The corrosion results of the accelerated testing in salt spray chamber were analyzed by means of optical microscopy, scanning electron microscopy and X-Ray diffraction. Through MEV analysis we could observe the galvanic difference between the sheets and how thinner sheets (0,7mm) are more likely to corrode than sheets with a greater thickness (1,4mm). This result was confirmed by complementary analysis of optical microscopy it was possible to observe by means of the X - Ray diffraction, the oxides and chlorides formed during salt corrosion. The present work has shown that the results after cyclic tests can, with a shorter exposition time to salt atmosphere, be similar to those obtained after continuous testing, with the benefit of including weathering factors.

Key words:

IF steel, Galvanizing, Corrosion, Salt spray.

Rio de Janeiro
Agosto 2016

Sumário

Introdução..... 11
1 Revisão Bibliografica..... 13
1.1 – Ligas metálicas..... 13
1.2 – Aço IF..... 13
1.3 – Corrosão..... 14
1.4 – Tipos de corrosão..... 17
1.5 – Formas de corrosão..... 20
1.6 – Corrosão do ferro..... 21
1.6.1 – Prevenindo a corrosão do ferro..... 22
1.7 – Eletrólise..... 24
1.8 – Galvanização..... 26
1.9 – Corrosão Galvânica..... 28
1.10 – Ensaios de corrosão..... 29
1.10.1 – Névoa Salina..... 29
1.11 Técnicas de avaliação..... 32
1.11.1 – Raio X..... 32
1.11.2 – Microscópio ótico..... 33
1.11.3 – MEV – Microscópio eletrônico de Varredura..... 34
2 Materiais e Metodos..... 36
2.1 – Aço IF-Ti..... 36
2.2 – Ensaio de névoa salina..... 37
2.2.1 – Analise por microscópio ótico..... 39
2.2.2 – Analise por raios-x..... 39
2.2.3 – Analise por MEV..... 40
3 Resultados..... 41
3.1 – Resultados de névoa salina..... 41
3.2 – Resultados de Microscopia ótica..... 59
3.3 – Resultados de Raio x..... 70
3.4 – Resultados de MEV..... 77
4 Discussão de Resultados..... 89
Conclusão..... 99
Estudos Propostos..... 101
Referências Bibliográficas..... 102

Introdução

Os aços de modo geral são produzidos de maneira semelhantes, variando normalmente os componentes intersticiais presentes [1]. Os aços livres de intersticiais ou aços IF (Intersticial Free), como são mais comumente conhecidos, são materiais de vasta aplicação nos mercados automobilísticos e de enlatados, não só no Brasil, mas também em outros países[2]. Estas chapas são normalmente fornecidas no estado galvanizado ou sofrem o processo de galvanização com o intuito de prevenir a corrosão das mesmas. No entanto, apesar do tratamento de galvanização feito com rigor, estas chapas ainda continuam sofrendo os efeitos de condições adversas, como por exemplo o ambiente salino, o ambiente atmosférico ácido, fadigas, entre outras situações.

O maior intuído da galvanização em uma chapa de aço é aumentar o tempo de vida útil do material, dificultando assim que a corrosão possa surgir rapidamente. A corrosão é um processo espontâneo e presente em nosso cotidiano[3]. É fato, que o tempo é um dos responsáveis pela degradação desses materiais e em algum momento a corrosão irá surgir, mas quanto mais retardado for esse processo, melhores serão os resultados e maior será a economia. Os fatores que causam o maior avanço da corrosão são as condições climáticas, em regiões aonde a taxa de salinidade é alta. Nestes locais, os casos de corrosão são observados em maior escala.

Os problemas com a corrosão geram gastos bilionários para os países, e setores como o automobilístico, naval e civil participam dessa estatística, isso porque na maior parte dos casos os produtos desses setores estão diretamente em contato com a atmosfera salina[4]. A corrosão por ambiente salino é um caso muito complexo de ser estudado e muitas vezes questionado, pois não existe uma mensura totalmente confiável sobre o quanto, diariamente, um ambiente salino é capaz de influenciar no processo de corrosão, uma vez que a quantidade vapores de água presentes no ambiente sofrem variações ao longo do dia.

Um ensaio muito comum para tentar determinar a resistência de uma chapa de aço em relação a corrosão é o ensaio de nevoa salina. Esse ensaio, irá determinar o tempo em que uma dada chapa de aço irá começar a ser afetada pelo processo de corrosão. Para isso, são analisados, após o ensaio, os aspectos visuais que são as áreas afetadas pela corrosão.

Nestas áreas, podem ser observados o surgimento de pontos de corrosão vermelha, típicos da corrosão do ferro, a redução da camada galvanizada e os aspectos micro estruturais.

O ensaio de névoa salina é normatizado pela ASTM B 117 que sugere que o ensaio seja realizado em um tempo médio de 24 a 1000 horas, de forma constante, sem que haja tempo de secagem, o que pode fazer com que esse ensaio não se torne confiável, por não retratar a realidade, já que as condições dos ambientes salinos não são constantes, podendo variar muito durante o dia[5] e esse ensaio irá ser feitos em padrões que não mudam.

Com o intuído de chegar a resultados de corrosão mais precisos e próximos da realidade, que é adicionar fatores extras de intemperismo, transformamos neste trabalho o ensaio de névoa salina continuo em ensaio cíclico. Para isso, duas chapas de aço IF galvanizadas foram submetidas a névoa salina durante 6 ciclos de 8 horas cada, em contato continuo com a névoa, com intervalos para secagem que variaram de 12 a 19 horas. Com o propósito de verificar também o efeito da espessura da camada galvanizada no tempo para o início da corrosão, foram usadas neste trabalho duas chapas de aço IF com espessuras distintas de 0,7mm e 1,4mm. Para avaliarmos o efeito da temperatura no processo corrosivo, o ensaio cíclico de névoa salina foi realizado em três temperaturas diferentes, 25°C, 35°C e 41,5°C. Para a avaliação do resultados, foram utilizados um microscópio ótico, um microscópio eletrônico de varredura (MEV) e um difratômetro de Raios – X, onde foram medidos:

- Como a corrosão se comportou a cada ciclo e para as diferentes espessuras e temperaturas;
- A área especifica das corrosões presentes em cada uma das amostras;
- A taxa galvanizada, que foi perdida em função do tempo de ensaio;
- O surgimento de novos elementos devido a corrosão.
- Os difratogramas de compostos formados após o processo de corrosão.

1 - Revisão Bibliográfica

1.1 - Ligas Metálicas

Segundo Callister [6], as ligas metálicas são divididas em dois grupos: as ligas ferrosas e as ligas não ferrosas. As ligas ferrosas são aquelas em que o ferro irá aparecer como seu principal constituinte. Já as ligas não ferrosas, não são baseadas somente no ferro durante o seu processo de formação. Outros componentes irão aparecer em quantidades altas e irão descaracterizar o ferro como elemento principal. As ligas ferrosas são produzidas em maiores quantidades que qualquer outro tipo de metal, pois essas ligas são utilizadas no nosso dia a dia em grande escala, como na construção civil, indústria automobilística, indústria de eletrodomésticos e indústria para enlatados entre outras.

O uso destas ligas em grande escala se deve a três fatores:

1) Os compostos contendo ferro existem em quantidades abundantes na crosta terrestre.
2) O ferro metálico e as ligas de aço podem ser produzidos usando técnicas de extração, beneficiamento, formação de ligas e a sua fabricação é relativamente é de baixo custo.
3) As ligas ferrosas são extremamente versáteis, no sentido de que podem ser fabricadas com uma ampla variedade de propriedades físicas e mecânicas.

A principal desvantagem das ligas ferrosas e sua baixa resistência a corrosão.

1.2 – Aço IF

Podemos definir aços IF como sendo os aços que apresentam em sua composição baixos teores de carbono e nitrogênio. Estes dois elementos, ditos intersticiais, são retirados do estado de solução sólida, podendo formar precipitados, pela adição de elementos formadores de carbetos e nitretos tais como o titânio e o nióbio. [7]

Não existe uma classificação padronizada de aços IF. Geralmente, eles são classificados e diferenciados pelo elemento que estabiliza os solutos, podendo ser só o titânio (IF-Ti), só o nióbio (IF-Nb) ou os dois juntos (IF-Ti/Nb) [8]. Para cada tipo de aço IF a precipitação será diferente e depende das diferenças na composição química e no processamento termomecânico, o que poderá afetar a microestrutura e textura final do material.

Em aços estabilizados ao titânio, esse elemento atua capturando o carbono e o nitrogênio para a formação de precipitados. A sequência de precipitação é TiN, TiS, $Ti_4C_2S_2$ e TiC, a medida que a temperatura diminui.

Em aços estabilizados ao titânio e nióbio, com um quantidade maior de titânio, uma grande quantidade de nióbio pode permanecer na solução sólida. Tal situação é benéfico para as propriedades desejadas, principalmente para alguns processos termomecânicos. O carbono pode ser estabilizado pela formação de precipitados $(Nb, Ti)_4C_2S_2$, embora a precipitação na forma de TiC e NbC também possa ser observada.

Aços estabilizados ao titânio e ao nióbio (IF-Ti/Nb) exibem boa plasticidade e, por isso, vêm sendo usados em aplicações de conformação e estampabilidade profunda de componentes *designs* cada vez mais arrojados e complexos.

Os aços IF são uma classe de aços que se distingue dos aços convencionais pelas seguintes propriedades: baixo limite de escoamento, alta qualidade superficial e grande elongação total [9].

No entanto, a falta de elementos intersticiais pode levar ao comprometimento da resistência mecânica, o que vem levando a indústria a tentar achar soluções para aumentar a dureza e a resistência mecânica desse aço [2].

Hoje em dia, o mercado mais proeminente de aplicação para aços IF é a indústria automobilística, mais precisamente, como material usado na confecção de para-lamas, capôs e tampas de porta-malas, entre outros [2,7].

1.3 – Corrosão

Existem diversos tipos diferentes de aço e este material foi um grande aliado no desenvolvimento industrial, atendendo à inúmeras finalidades. No entanto, a sua resistência a corrosão deste tipo de liga tem sido a maior preocupação, desde então até

nos dias de hoje. Infelizmente e ainda com pouco êxito, os estudo para proteger definitivamente o aço da corrosão não obteve sucesso. Ações paliativas como a galvanização e pinturas eletrolíticas tem sido tomadas, mas com um resultado final aquém do esperado.

Um conceito universalmente conhecido para corrosão seria o de que esta consiste na deterioração dos materiais pela ação química ou eletroquímica do meio, podendo estar ou não associada a esforços mecânicos. Esse conceito é correto e bastante válido quando expressado a relação de corrosão metálica. Entretanto, com tantas práticas expostas, um conceito mais moderno, que abrangesse materiais metálicos e não metálicos, como o concreto, a borracha e os polímeros, entre outros, poderiam ser melhor empregados [10].

Segundo Gentil [11], a corrosão, em geral, é um processo espontâneo, que está constantemente transformando os materiais metálicos de modo que a durabilidade e desempenho dos mesmos deixa de satisfazer os fins a que destinam [11].

A corrosão metálica é um problema de proporções financeiras significativas. Foi estimado que 5% das receitas de uma nação industrializada sejam gastos na prevenção da corrosão e na manutenção e substituição de produtos perdidos ou contaminados [6]. Esse 5%, podem atingir a casa dos bilhões de dólares. No Brasil se gasta em torno de 3,5% do PIB com assuntos de corrosão. Nos Estados Unidos, na década de 70, o custo com a corrosão girava em torno dos 4% e atualmente, os gastos são superiores a 600 bilhões de dólares. Hoje um quinto na produção de aço é destinada a sanar os efeitos da corrosão, fator esse que poderia causar menos transtornos se novos e eficazes sistemas de combate ou manutenção a corrosão fossem criados [12,13].

Pode-se observar os danos causados com a corrosão em [11]:

- Estruturas metálicas enterradas ou subterrâneas, tais como minerodutos, oleodutos, gasodutos, adutoras, cabos de comunicação e de energia elétrica, píeres de atracação de embarcações, tanques de armazenamentos de combustíveis como gasolina, álcool e óleo diesel e emissários submarinos.
- Nos meios de transporte, como trens, navios, aviões, automóveis, caminhões e ônibus

- Nas estruturas metálicas sobre o solo ou aéreas, como torres de linha de transmissão de energia elétrica, postes de iluminação, linhas telefônicas, tanques de armazenamento, instalações industriais, viadutos, passarelas e pontes.
- Em equipamentos eletrônicos, torres de transmissão de estações de rádio, de TV, de repetidores de radar, antenas, etc.
- Em equipamentos como reatores, trocadores de calor e caldeiras.

Segundo Dutra [14], em geral, nos processos de corrosão, os metais pelos quais os aços são formados, reagem com os elementos não metálicos presentes no meio atmosférico, normalmente esses elementos são oxigênio e o enxofre, devolvendo a esses metais, formas semelhantes a de quando eram encontrados na natureza antes de serem transformados em aço, daí a formação dos óxidos que é a forma primária de como os componentes dos aços são encontrados.

Podemos dizer então, que o processo de corrosão é o contrário do processo metalúrgico, pois os metais, com exceção dos metais nobres, tendem a permanecer com o seu mais baixo nível de energia. Ao chegar o minério na indústria metalúrgica, a ele é destinado uma carga de energia, para transforma-lo em um metal. Como o nível de energia desse metal obtido está acima do normal, ele se encontra em um estado parcial de equilíbrio denominado de equilíbrio metaestável. Com a ajuda da corrosão, esse metal consegue voltar a sua forma inicial de minério liberando essa energia extra que foi adquirida durante o processo metalúrgico [14].

A corrosão popularmente chamada de ferrugem quando encontrada nos metais como ferro e aço, afeta não apenas o aspecto estético do material, como também sua resistência mecânica e vida útil.

Ao se considerar o emprego de materiais na construção de equipamentos ou instalações, é necessário que estes resistam à ação do meio corrosivo, além de apresentarem propriedades mecânicas e características de fabricação adequadas como resistência a tricas. Na grande maioria dos casos, a adoção de processos preventivos anti-corrosão no início da utilização dos materiais, proporcionará um significativo aumento da vida útil da estrutura, além de economia de custos com um número menor de manutenções necessárias [15].

1.4– Tipos de corrosão

Diversos fatores e meios promovem a formação da corrosão e podem acelerá-la dando origem a diferentes tipos conhecidos de corrosão, como:[11,14]

1 - Corrosão Galvânica: Denomina-se corrosão galvânica o processo corrosivo resultante do contato elétrico de materiais dissimilares, em presença de um eletrólito. Esse tipo de corrosão será tão mais intenso quanto mais distantes forem os materiais, na tabela de potenciais eletroquímicos, no eletrólito considerado.

2 - Corrosão em frestas: Nas frestas, os metais estão sujeitos a corrosão por aeração diferencial e por concentração diferencial. As frestas ocorrem normalmente em juntas soldadas com chapas sobrepostas, em juntas rebitadas, em ligas flangeadas, em ligações roscadas e em chapas aparafusadas, dentre outras.

3 - Corrosão atmosférica: São processos corrosivos em estruturas aéreas. A intensidade de corrosão atmosférica depende basicamente da umidade relativa do ar, do teor de sais em suspensão e do teor de gases poluentes, especialmente gases de enxofre. Fatores como regimes de chuvas, partículas sólidas em suspensão e regime dos ventos, são fatores também diretamente relacionados a corrosão atmosférica.

4 - Corrosão pelo solo: São os processos de corrosão observados em estruturas enterradas. A intensidade da corrosão pelo solo depende do teor de umidade, da composição química e do pH do próprio solo. A permeabilidade do solo, a presença de bactérias e a presença de poluentes são fatores diretos que podem aumentar ainda mais as consequências de corrosão pelo solo.

5 - Corrosão pela água: São consideradas situações como corrosão pela água, os processos corrosivos em contato com meios aquosos, tais como estacas de píeres, tubulações submersas, embarcações, instalações de água de refrigeração entre outras. Na água doce, as taxas de corrosão dependem das quantidades de sais, ácidos ou bases dissolvidos. As estruturas em águas salgadas estão sujeita a altas taxas de corrosão, que

podem ainda ser aumentadas com a presença de poluentes. A velocidade e a temperatura, presença de bactérias e o grau de aeração, são fatores que podem acelerar os processos de corrosão pela água.

6 - Corrosão por bactérias ou corrosão microbiológica: Corrosão por bactérias ou corrosão microbiológica: As bactérias tem o poder de acelerar ou retardar os processos relacionados a corrosão e isso dependerá do meio, das condições gerias e da bactéria. Essa ocorrência é muito comum em tubulações enterradas, principalmente onde exista alta umidade. Vale ressaltar que a ação das bactérias está sempre relacionada ao meio, tornando-o agressivo ou intensificando a sua agressividade por ações catalizadoras.

7 - Corrosão intergranular: A corrosão intergranular, ocorre com maior frequência nos aços inoxidáveis, porém incide também no alumínio, duralumínio, cobre e suas ligas, entre outros materiais. Como a passivação dos aços inoxidáveis só ocorre acima de um determinado teor de cromo na liga, os aços sintetizados, quando expostos formam uma pilha, junto ao contorno de grãos (área anódica), com o restante da área passiva (área catódica), resultando em corrosão intergranular.

8 - Corrosão eletrolítica: São os processos corrosivos de natureza eletroquímica, ocasionados em estruturas metálicas enterradas ou submersas, como resultado de um fluxo indesejável de corrente contínua dispersa no eletrólito.

9 - Corrosão por compostos de enxofre: Denomina-se corrosão por compostos de enxofre, principalmente os processos corrosivos observados em unidades de processamentos químicos, petroquímico ou de petróleo, onde o enxofre aparece como impureza ou como matéria necessária.

10 - Corrosão grafítica. A corrosão se processa no ferro fundido cinzento em temperatura ambiente e o ferro metálico é convertido em produtos de corrosão, restando grafite intacto. Observa-se que a área corroída possui um aspecto escuro, característico do grafite e pode facilmente ser retirado com uma espátula.

11 - Dezincificação: E a corrosão que ocorre em ligas de cobre-zinco (latões), observando-se o aparecimento de regiões de coloração avermelhadas contrastando com o amarelados dos latões. Admite-se que ocorre uma corrosão preferencial do zinco, sobrando somente o cobre com a sua cor avermelhada. A dezincificação e a corrosão grafítica são exemplos de corrosão seletiva, pois tem-se a corrosão preferencial de zinco e ferro, respectivamente.

12 - Corrosão em concreto: Abrange os processos corrosivos que incidem na ferragem de reforços do concreto armado e alguns casos de deterioração da própria argamassa do cimento. Esta ferragem está sujeita à corrosão, tanto em estruturas aéreas como nas submersas e enterradas. O ataque é devido a infiltração de umidade que alcança o metal, o que é muito facilitado no caso de pequenas espessuras de recobrimento da armadura do concreto.

13 - Corrosão sob fadiga: A fadiga é um processo de deterioração mecânica dos materiais sujeitos a esforços cíclicos. Quando o fenômeno se processa na presença de um eletrólito ou outro meio corrosivo, a sua ação é intensificada. O fenômeno se manifesta por meio de trincas que se propagam na direção perpendicular aos esforços e, geralmente, se inicia na superfície onde há falhas capazes de concentrar tensões. A corrosão por pites pode ser uma das causas.

14 - Corrosão sob tensão: A corrosão sob tensão é um processo de deterioração de materiais metálicos submetidos a tensões estáticas de tração. O processo corrosivo progride da superfície para o interior do material, perpendicularmente à direção das tensões, podendo provocar a fratura da peça. A falha do material se manifesta por meio de trincas, geralmente sem qualquer evidência de corrosão superficial. Esta trinca pode ser intragranular ou transgranular, dependendo principalmente do material. Fatores como, nível das tensões, suscetibilidade do material ou fenômeno, meio corrosivo e tempo podem influenciar na corrosão sob tensão.

1.5– Formas e taxas de corrosão

Segundo Dutra [14], as formas segundo as quais a corrosão pode se manifestar são definidas principalmente pela aparência da superfície corroída, sendo que as principais são [11,14,16]:

Corrosão uniforme: quando a corrosão se processa de modo uniforme em toda a superfície atacada. Este tipo é comum em metais que não formam películas protetoras, como resultado do ataque;

Corrosão por placas: quando os produtos de corrosão formam-se em placas que se desprendem progressivamente. É comum em metais que formam inicialmente uma película protetora que, ao se tornarem espessas, fraturam e perdem aderência, expondo o metal a novo ataque;

Corrosão alveolar: quando o desgaste provocado pela corrosão se dá sob forma localizada, com o aspecto de crateras. É frequente em metais formadores de películas semi-protetoras ou quando se tem corrosão sob depósito, como no caso da corrosão por aeração diferenciada;

Corrosão por pite: quando o desgaste se dá de forma muito localizada e de alta intensidade, geralmente com profundidade maior que o diâmetro de bordos angulosos. A corrosão por pite é frequente em metais formadores de películas protetoras, em geral passivas, que, sob a ação de certos agentes agressivos, são destruídas em pontos localizados, os quais se tornam ativos, possibilitando corrosão muito intensa.

Corrosão intergranular ou intercristalina: Quando o ataque se manifesta no contorno dos grãos, como no caso dos aços inoxidáveis austeniticos sensitizados, expostos a meios corrosivos.

Corrosão transgranular ou transcristalina: Quando o fenômeno se manifesta sob forma de trincas que se propagam pelo interior dos grãos do material, como no caso da corrosão sob tensão de aços inoxidáveis austeniticos.

A figura 1.1 demostra os tipos de corrosão e como elas podem ser encontradas.

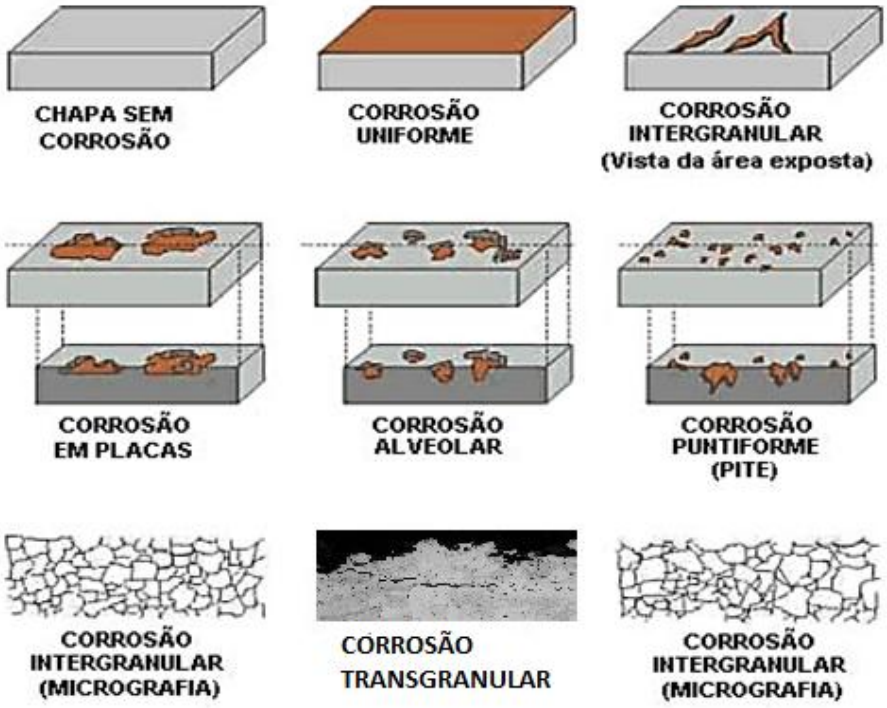


Figura 1.1 – Formas de corrosão – Desenhos esquemáticos[17]

1.6 - Corrosão do ferro

A corrosão do ferro ou ferrugem requer tanto oxigênio quanto água para a sua formação. Outros fatores, como o pH da solução, a presença de sais, o contato com metais mais difíceis de oxidar que o ferro e o desgaste no ferro, por exemplo, podem acelerar a ferrugem.

A corrosão do ferro é eletroquímica por natureza. Não apenas o processo de corrosão envolve a oxidação e a redução, mas o metal por si só conduz eletricidade. Portanto, os elétrons podem mover-se livremente através dele de uma região aonde ocorre oxidação para outra aonde há redução, como em células voltaicas.

Como o potencial-padrão de oxidação do Fe para $Fe^{2+}_{(aq)}$ é maior que o potencial de oxidação de O_2, $Fe_{(s)}$ pode ser oxidado por $O_{2(g)}$. [18]

Cátodo: $O_{2(g)} + 4H^{+}_{(aq)} + 4e^{-} \rightarrow 2H_2O_{(l)}$ $E^{\circ}_{oxd} - 1,23V$

Ânodo: $Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^{-}$ $E^{\circ}_{oxd} = - 0,44V$

Uma parte do ferro pode servir como ânodo onde ocorre oxidação de Fe a Fe^{2+}. Os elétrons produzidos migram pelo metal para a outra parte da superfície que serve como cátodo, onde o O_2 é reduzido. A redução de O_2 necessita de H^+, de forma que a diminuição da concentração de H^+ (aumento do pH) tornando a redução de O_2 menos favorável. O ferro em contato com uma solução cujo pH é maior que 9 não sofre corrosão.

O Fe^{2+} formado no ânodo é eventualmente mais oxidado a Fe^{3+}, formando o oxido de ferro III hidratado conhecido como ferrugem [17].

As reações que expressam tais ações são: [19]

$4\ Fe \rightarrow 4Fe^{+2} + 8e^-$ (reação anódica)

$2\ O_2 + 4\ H_2O + 8e^- \rightarrow 8\ OH^-$ (reação catódica)

Ou

$4\ Fe + 2\ O_2 + 4\ H_2O \rightarrow 4\ Fe(OH)_2$

Na presença de oxigênio, o hidróxido ferroso será transformado em óxido de ferro III hidratado, $Fe_2O_3.H_2O$.

Uma vez que o cátodo é geralmente a área que tem maior suprimento de O_2, a ferrugem, normalmente, será depositada nessa área.

1.6.1 – Prevenindo a corrosão do ferro

Componentes de ferro ou a base de ferro são fornecidos, em geral, cobertos por um revestimento de pintura ou de outro metal, como estanho ou zinco, para proteger sua superfície contra a corrosão[20,21]. Cobrir a superfície com pintura ou estanho é uma maneira simples de prevenir que o oxigênio e a água de atinjam a superfície do ferro. Se o revestimento é quebrado e o ferro é exposto ao oxigênio e à água, a corrosão começará. A figura 1.2 (a) e (b), mostram respectivamente, como gotas de água e as influências atmosféricas podem possibilitar a formação de ferrugem e como a proteção com zinco é

importante já que será o zinco que sofrerá a corrosão, impedindo assim a corrosão do ferro.

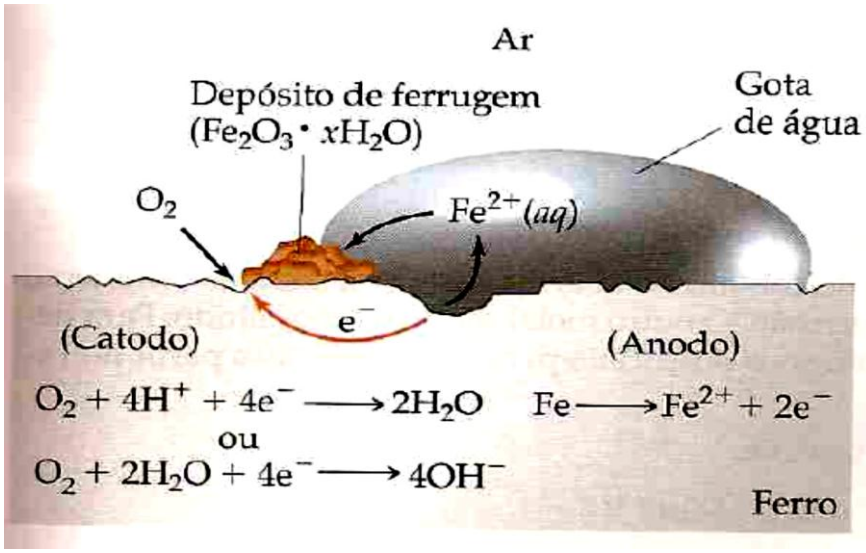


Figura 1.2 (a) - Corrosão do ferro sem a proteção de qualquer metal de sacrifício [22].

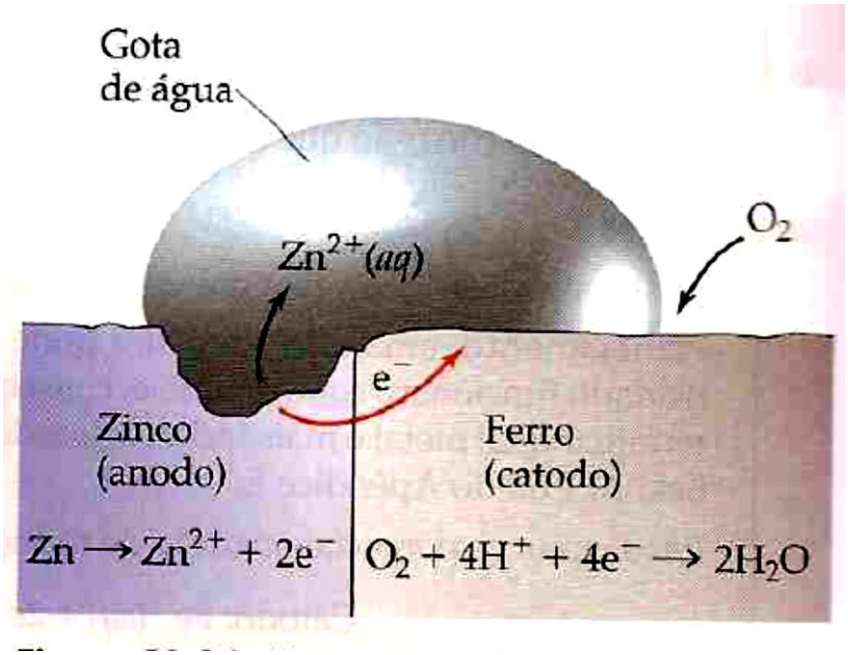


Figura 1.2 (b) - Corrosão do zinco após a zincagem protegendo assim o ferro. [22]

O ferro galvanizado, que é o ferro revestido com uma fina camada de zinco, usa o princípio da eletroquímica para proteger o ferro da corrosão, mesmo depois que o revestimento da superfície for quebrado. Os potenciais padrão de redução para o ferro e o zinco são:

$Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Fe_{(s)}$ $E^\circ_{red} = -.0,44V$

$Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Zn_{(s)}$ $E^\circ_{red} = - 0,76V$

Como o calor de E°_{red} para a redução do Fe^{2+} é menos negativo (mais positivo) que aquele para a redução de Zn^{2+}, Fe^{2+} é mais facilmente reduzido que Zn^{2+}. Ao contrário, $Zn_{(s)}$ é mais facilmente oxidado que o $Fe_{(s)}$. Assim, mesmo que o revestimento de zinco seja quebrado e o ferro galvanizado seja exposto ao oxigênio e a água, o zinco, que é mais facilmente oxidado, servirá como ânodo e será corroído no lugar do ferro. O ferro funciona como cátodo no qual o O_2 é reduzido.

A proteção de um metal contra corrosão tornando-o cátodo em uma célula eletroquímica é conhecida como proteção catódica. O metal que é oxidado enquanto protege o cátodo é chamado de ânodo de sacrifício.

1.7– Eletrólise

Segundo Russell [23], uma célula eletroquímica é um dispositivo que utiliza reações de óxido-redução para produzir a interconversão de energia química e elétrica. Existem dois tipos de células eletroquímicas: as células galvânicas nas quais energia química é convertida em energia elétrica, e as células eletrolíticas, nas quais energia elétrica é convertida em energia química[23]. Dentro do estudo dessas células eletrolíticas teremos o grupo da eletrólise. Com o melhor entendimento do processo de eletrólise, poderemos entender melhor o processo de galvanização.

Para ocorrer a eletrólise, precisamos de uma fonte de energia para forçar o fluxo de corrente elétrica, uma vez que a eletrólise não é uma processo espontâneo ($\Delta G>0$). São usadas fontes de alimentação para fornecer a corrente elétrica do processo, ou também podemos utilizar uma pilha como fonte de alimentação.

A fonte de alimentação irá forçar os elétrons do polo positivo (ânodo) da cuba eletrolítica (nome dado ao recipiente onde ocorre a eletrólise) e os transferirá para o polo negativo (cátodo) [23].

A figura 1.3 ilustra o processo de eletrólise. Na primeira semi-reação o gerador atrai ânions A^- para o polo positivo e retira elétrons. Na segunda semi-reação, o gerador faz com que os cátions B^+ recebam os elétrons. Desse modo existe fluxo de corrente elétrica.

Uma reação de eletrólise frequentemente resulta na decomposição de um composto para formar os seus íons.

Usualmente as eletrólises são realizadas aplicando-se uma tensão a um par de eletrodos inertes imersos em um líquido. Esses eletrodos ajudarão para que a tensão aplicada seja maior do que a tensão original da pilha, dando início a eletrólise. Sem o auxílio desta carga extra teríamos um reação espontânea com uma DDP definida o que daria a formação de uma pilha. A tensão externa necessária para começar a eletrólise de uma solução é denominada potencial de decomposição da solução [24].

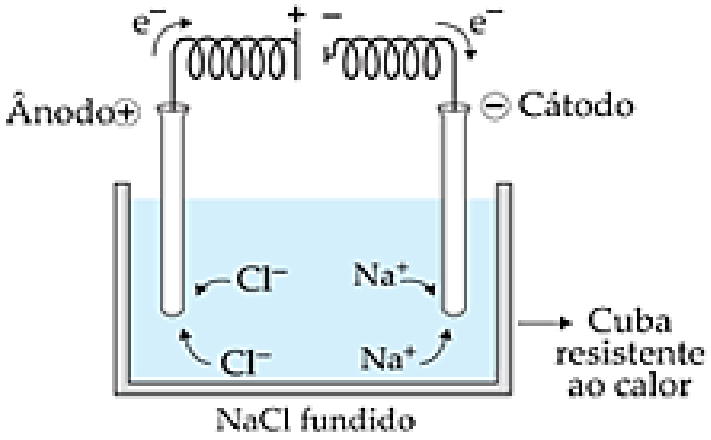


Figura 1.3– Processo de eletrólise.[25]

O polo positivo da fonte de alimentação descrita como gerador na figura 1.3 é chamado, na eletrólise, de ânodo e o negativo de cátodo. Vale lembrar que o fluxo da corrente é representado como o fluxo real, ou seja, do negativo para o positivo. Os ânions Cl- de forma genérica podemos chamar de A^- se concentram no polo positivo da bateria, pois a fonte forçará a perda de elétrons e os cátions de Na^+ que de forma genérica podemos chamar de B^+ se concentram no polo negativo da bateria, pois a fonte lhes transferirá elétrons.

No caso da eletrólise ígnea, a passagem de corrente elétrica se dá em uma substância iônica fundida (liquefeita), esse tipo é muito utilizado em indústrias, principalmente para a produção de metais.

No caso da eletrólise aquosa, participam da reação a substância dissolvida e a água, sendo que apenas uma cátion e um ânion sofrerão as descargas do eletrodo.

Na eletrólise aquosa, a auto-ionização da água não é desprezível e, portanto, devem-se considerar as filas de prioridade de descarga. Os íons em solução deverão competir com os íons H_3O^+ e OH^-. [24]

Na reação podemos ver a auto-ionização da água, produzindo seus cátions e seus ânions.

$2H_2O_{(l)} \leftrightarrows H_3O^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$

Como na solução temos além da água outros componentes para poderem realizar a eletrólise, os íons que irão para participar do processo devem respeitar a seguinte ordem:

Ânions ➔Da esquerda para a direita aumenta a dificuldade de descarga: ânions não oxigenados e HSO_4^-, OH^- ânions oxigenados, F^-.

Cátions ➔Da esquerda para a direita, aumenta a dificuldade de descarga:

Au^{3+} Pt^{2+} Hg^{2+} Ag^+ Cu^{2+} Ni^{2+} Cd^{2+} Pb^{2+} Fe^{2+} Zn^{2+} Mn^{2+} H_3O^+ Al^{3+} Mg^{2+} Na^+ Ca^{2+} Ba^{2+} K^+ Li^+ Cs^+

1.8 – Galvanização

O primeiro processo de deposição da liga zinco/ferro é realizado por Brenner, onde foi descoberto de forma acidental [26]. Com um campo de aplicação vasto, a proteção catódica, possui uma característica fundamental: a estrutura a ser protegida deve encontrar-se em contato com o eletrólito, no qual se instala o anodo ou conjunto de anodos, por meio dos quais é provida a corrente necessária à proteção.

Desse modo, dentre as instalações mais comuns em que se aplica a proteção catódica, destacam-se as tubulações enterradas e as submersas, tais como oleodutos, gasodutos e adutoras. Tanques de armazenamento enterrados ou com o fundo em contato com o solo são também importantes campo aonde a aplicação de proteção catódica se faz necessária.

As instalações marítimas constituem outra ampla gama de estruturas, em que a proteção catódica tem vasta utilização. É o caso de píeres com estacas tubulares ou com estacas-prancha, boias de sinalização, amarras, bem como embarcações metálicas de qualquer tipo, além das plataformas metálicas, dos mais variados tipos, usadas na exploração e na produção de petróleo no mar. [20,27].

Aplica-se, ainda, este tipo de proteção à parte interna de equipamentos, como tubulações que transportam água e também câmaras internas de permutadores de calor em contato com água de refrigeração, doce ou salgada.

A proteção catódica também tem demonstrado ser eficiente na proteção de ferragem de armação e reforço do concreto, quando estas estruturas trabalham submersas, particularmente em água salgada, ou mesmo em canalização de concreto para transporte de água.

A proteção catódica também é conhecida como galvanoplastia ou galvanização e nada mais é do que um tipo de tratamento de superfície. Este tratamento consiste em depositar um metal sobre o outro através de redução eletrolítica.

Esse tratamento é feito para a proteção da superfície, e tem como consequência melhorar a sua condutividade e capacidade para ser soldada [28]. A galvanoplastia é aplicada com a finalidade estética, ou seja, melhorar a aparência, aglutinar partículas não condutoras à camada eletro-depositada, resistência ao atrito e a temperatura, e para melhorar a dureza superficial.

A galvanoplastia pode ser definida como a tecnologia responsável pela transferência de íons metálicos de uma da superfície sólida ou meio liquido denominado eletrólito, para outra superfície, seja ela metálica ou não. Esse processo usa a corrente elétrica, sendo chamada de “eletrólise”. A galvanização, que também pode ser chamada de eletro-formação, é todo o processo de galvanoplastia, aonde os metais são revestidos por outros metais mais nobres. Isso, geralmente, para proteger o componentes da corrosão ou para fins estéticos.

O processo de galvanoplastia pode ser classificado em douração, cromagem, prateação ou zincagem.

A douração consiste em banhar de ouro um produto feito de alumínio, por exemplo, um anel.

A cromagem é o processo de galvanoplastia com o cromo sobrepondo o ferro. Esse tratamento é comum em para-choques de carros. Para que ocorra a cromagem, é preciso utilizar outros dois processos: cobreação e niquelagem. De forma similar ao sistema de douração, a prateação também é feita em produtos de alumínio, ou seja, um banho de prata no processo de galvanoplastia.

A zincagem é o processo mais antigo da galvanoplastia. Este processo é utilizado para a proteção de produtos de ferro e aço. O sistema da zincagem é similar aos demais, sendo que a diferença está na temperatura de fusão que chega a aproximadamente 419°C. A temperatura elevada durante o processo faz com que a zincagem seja conhecida popularmente como galvanização a fogo ou galvanização a quente [14].

1.9 – Corrosão galvânica

Segundo Gentil [11], quando dois materiais metálicos, com diferentes potenciais, estão em contato na presença de um eletrólito, ocorre uma diferença de potencial e a consequente transferência de elétrons. Para esse caso damos o nome de corrosão galvânica [11]. Para evitar a corrosão galvânica, o zinco ou zincagem é o processo mais comum, apesar de nem sempre ser eficaz. Certas situações podem interromper ou inibir a ação protetora do zinco e quando isso ocorre, o aço passa oxidar rapidamente. Este tipo de corrosão pode ser facilmente observada em telhas através das manchas características de corrosão branca (do zinco) ou vermelha (do aço). Duas condições se destacam pela frequência com que contribuem para o surgimento de oxidação em chapas zincadas:

- Má estocagem do produto;

-Coberturas com caimento reduzido e com sobreposição transversal não protegida, o que é muito comum em telhas de aço.

Em ambas as situações, o problema é o mesmo: água retida entre duas chapas zincadas por períodos prolongados, sem que seja possível o acesso do ar externo para secá-la ou para permitir que o gás carbônico do ar reaja com o hidróxido de zinco. Não ocorrendo esta reação, o zinco não poderá proteger o aço e o processo de corrosão, uma vez iniciado, não será interrompido. A presença constante de umidade em um ponto não ventilado entre duas chapas zincadas é uma condição que pode ser evitada com providencias simples, porém importantes.

Deste modo, a corrosão galvânica pode ocorrer quando dois metais diferentes estão em contato entre si. Este contato pode ser direto entre dois metais ou por outros meios que completem um circuito elétrico. Por metais diferentes entendemos metais ou ligas metálicas que apresentem comportamentos distintos quando expostos a ambientes corrosivos como a atmosfera ou a água da chuva [11].

1.10 – Ensaios de corrosão

1.10.1 – Névoa salina

Os ensaios de corrosão são importantes para o estudo mecanismo de corrosão. Alguns dos ensaios de corrosão conhecidos são:

- Ensaios por imersão;
- Avaliação da suscetibilidade a corrosão intergranular;
- Por pite;
- A corrosão em frestas;
- Ensaios acelerados (névoa salina, dióxido de enxofre, umidade). [29]

Os equipamentos para ensaio de névoa salina foram usados primeiramente para testes de corrosão em torno de 1914 [30,31]. Em 1939, o teste de névoa salina neutra foi incorporado como Método ASTM B 117 [30,31]. O propósito do ensaio de corrosão acelerado é duplicar, em laboratório, o desempenho, perante corrosão, de um produto em campo. Com esses ensaios, se torna possível produzir novas propostas de produtos ou técnicas para tentar resolver os problemas da corrosão. Por muitos anos os ensaios de névoa salina foram utilizados como coadjuvantes na produção de novos produtos, avaliação de revestimentos metálicos novos e novas pinturas para utilização em chapas de aço com revestimento metálico.

Para que o ensaio de corrosão seja considerado útil para as empresas, é necessário que esse ensaio correlacione o resultado encontrado no laboratório com o desempenho *in situ*, algo que o ensaio de névoa salina sempre teve dificuldades de correlacionar. Por um

período de tempo, esse ensaio perdeu seu valor e pesquisadores e estudiosos chegaram a achar que ele deveria ser descontinuado[5].

Como esse ensaio vem sendo utilizado por muito tempo, mesmo que por algumas vezes não reflita fielmente o que o cotidiano da situação de intemperismo, ele não foi descontinuado pois, muitas empresas e clientes ainda o solicitam pelo fato de ser um ensaio bastante agressivo e de larga comparação com dados de ensaios mais recentes encontrados facilmente na literatura [32]. Com tamanha agressividade, esse ensaio poderá permitir que materiais mais frágeis ou inapropriados para uma dada aplicação sejam descartados primeiramente, sem que seja necessário passar por ensaios mais caros e mais elaborados.

Os ensaios de névoa salina se dão em câmaras que produzem atmosfera de umidade controlada simulando ambientes de altíssima umidade relativa, reproduzindo resultados que ocorreriam nas condições reais de intemperismo. Este ambiente de atmosfera controlada, acelera o processo de corrosão e pode reduz a durabilidade dos materiais [33].

Os resultados obtidos com este ensaio de corrosão devem ser muito bem analisados pois irão representar apenas uma situação generalizada em relação a corrosão. Por exemplo, muitas aplicações de campo não envolvem somente exposições a substância químicas salinas e raramente em concentrações a 5% de NaCl, pois conseguir controlar exatamente a concentração de sal que a maresia carrega e atinge todos os ambientes é praticamente impossível, assim através de teste fez-se necessário um padrão que colocou o nível mais agressivo para ser uma forma tabelada para as análises. Outro fator que deve ser levado em consideração é o de que em um ensaio na câmara, teremos somente a névoa salina, mas no ambiente externo outros fatores estarão presentes. Por exemplo, o aço galvanizado sofre uma taxa de corrosão maior em atmosferas de sulfeto em comparação a atmosferas sem sulfetos e as reações de corrosão não serão as mesmas em atmosferas contendo cloreto em relação a outra contendo sulfeto [34]. Por esta razão, não é esperado que os resultados de névoa salina se correlacionem diretamente com os resultados encontrados em ambiente externo aonde exista a presença de sulfetos. Para efeito de comparação, é importante que as condições de outros ensaios sejam as mesmas.

Um outro aspecto importante sobra a chapas de aço galvanizadas e o ensaio de névoa salina que deve ser mencionado é a relação entre a espessura do revestimento e o

tempo de vida útil. A vida do revestimento é considerada progressiva, ou seja, um componente apresentando um revestimento fino terá um determinado tempo de vida útil, caso a espessura deste revestimento duplique, a vida útil do componente deverá ser duplicada também[21]. Uma limitação do ensaio de névoa salina, é que não determinará com clareza o exato tempo de vida de um material galvanizado.

O ensaio de névoa salina, apesar de todas as suas limitações, é um ensaio que disponibiliza benefícios para o campo da indústria e pode sim ser mais bem aproveitado e explorado.

A seguir, faremos um sumário do procedimento de ensaio, mostrando claramente as normas estabelecidas pela ASTM B 117:

- Amostras, retiradas das chapas de aço IF de 0,7 e 1,4mm de espessura, foram amarradas de maneira vertical nos suportes existentes na câmara de névoa salina

- Água filtrada com 5% NaCl foi colocada no reservatório é bombeada do reservatório para esguichos de pulverização

- A solução é misturada com ar comprimido umidificado nos esguichos

- A solução NaCl é atomizada em uma névoa nos esguichos pelo ar comprimido

- A temperatura do ambiente é mantida por aquecedores conforme solicitado por norma, a temperatura deve ser de 95°F/35°C.

- A duração do ensaio pode ser de 24 a 1000 horas, ou até mais para alguns materiais.

Dentro da câmara, as amostras são frequentemente giradas, de modo que todas as amostras sejam expostas a névoa salina o mais uniformemente possível. Quando o ensaio por borrifo salino é utilizado para chapas de aço com revestimento metálico, o desempenho perante corrosão é classificado das seguintes formas:

- Número de horas até que o enferrujamento do aço possa ser visto pela primeira vez

- Número de horas até que 5% da área de superfície esteja enferrujada

- Número de horas até que 10% da área de superfície esteja enferrujada, etc.

O início da ferrugem vermelha em uma amostra de chapa galvanizada, por exemplo, significa que o revestimento foi consumido pela reação de corrosão e começa a corrosão do aço-base. Não há outro critério de desempenho melhor do que a visualização

desse início de pontos vermelhos. Assim irá depende do que o usuário define como falha, para determinar o ponto crítico do material, ou seja, o quanto está tomado visualmente as amostras de pontos vermelhos determinando o quanto critico está seu material [5].

1.11 – Técnicas de avaliação de resultados

1.11.1 – Raios-X

O uso da difração de Raios-X pode ser observado atualmente em vários campos de pesquisa como nas engenharias mecânica, metalúrgica, química e de materiais, bem como nos setores de geociências e física, entre outras [35]. Em 1895 o cientista alemão Röntgen fez a descoberta dos raios-X quando estudava o fenômeno da luminescência produzido por raios catódicos em um tudo de Crookes. Os raios-X são radiações eletromagnéticas da mesma natureza que a luz, mas com um comprimento de onda menor e uma frequência maior. Isso faz com que eles sejam invisíveis e possam facilmente passar por materiais como metal. [36]

Na engenharia mecânica e de materiais, tem um importante papel nas técnicas de caracterização de fases e caracterização microestrutural de materiais cristalinos.

Os raios-X ao colidirem com o matéria, sofrem um espalhamento sem a perda de energia pelos elétrons de um átomo. Assim, após a incidência, a onda eletromagnética irá mudar a sua trajetória. Para que tal incidência ocorra e permita um resultado eficaz, três fatores devem ser levados em consideração.

1- O ângulo de entrada deve ser igual ao de saída
2- A equação de Bragg, $n\lambda = 2\,d\,\mathrm{sen}\theta$, deve ser atendida, onde: λ corresponde ao comprimento de onda da radiação incidente, n corresponde a um número inteiro (ordem de difração), d será a distância interplanar para o conjunto de planos hkl (índices de Miller) da estrutura e θ será o ângulo de difração dos raios-X. [36,37]

Um pequena diferença na angulação pode causar a falha na análise. Por isso, a importância para que a Lei de Bragg seja atendida, pois ela irá garantir que o raios

estejam em fase, a incidência do raio seja perfeitamente nos locais desejados, evitando assim, até um possível cancelamento completo do raio-X incidente. [36,38]

A figura 1.4 mostra o processo de difração de raios-X com os ângulos θ descritos.

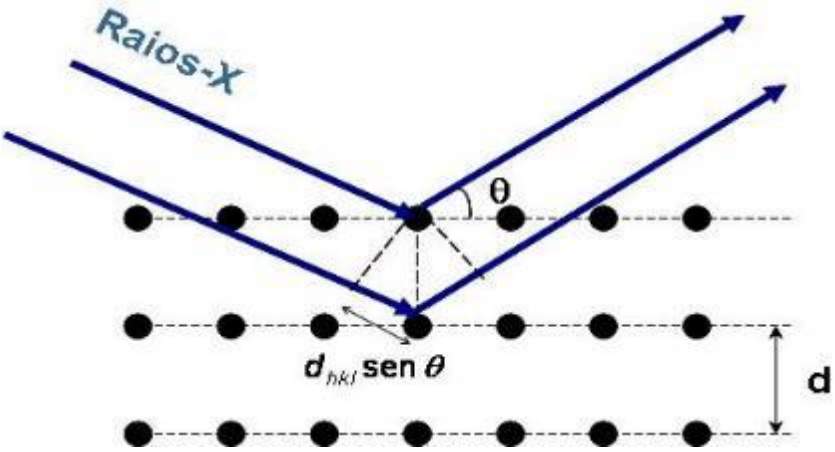


Figura 1.4 – Difração de raios-X por uma família de planos paralelos com espaçamento interplanar d.[36]

A intensidade difratada depende de vários fatores. Um deles de grande importância, é o da dependência do número de elétrons no átomo. Como as estruturas possuem diferentes densidades de átomos ou de elétrons, isso irá facilitar que ocorram intensidades difratadas distintas, obtendo assim planos diferentes segundo os índices de Miller.

1.11.2 – Microscópio ótico

O microscópio tem como sua principal função aumentar em grande escala partes de materiais ou organismos que vistos a olho nu não poderiam ser observados. Ao longo dos anos o microscópio ótico teve várias melhorias, possuindo hoje aparelhos que saem da linha de análises biológicas e atingem outros campos como a microeletrônica, astronomia e as engenharias, passando assim a ter uma grande influência nas análises de resultados em diversos campos da ciência. Uma das mais importantes melhorias observadas no microscópio são as lentes. Que podem aumentar uma amostra de 100 a 1000 vezes. Com essas melhorias, começou uma visualização das estruturas e sua parte superficial, formação microestrutural e cristalográfica.

Tudo começou no final do século XVI quando o fabricante de óculos Antonie Van Leeuwenhoek e Zacharias Jansen, desenvolveram os primeiros microscópios simples, que usariam uma única lente com um suporte de mesa, e os microscópios compostos que usariam duas lentes com suporte de mesa. [39]

O microscópio óptico é indispensável para a análise de componentes de dimensões menores que submicrons e utilizam a luz refletida pelo objeto fortemente iluminado para a formação da imagem. [39]



Figura 1.5 – Imagem de um microscópio óptico. [40]

1.11.3 – MEV – Microscópio eletrônico de varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura é utilizada em várias áreas do conhecimento. O uso desta técnica vem se tornando mais frequente por fornecer resultados de grande precisão, pela incidência de um feixe de elétrons na amostra, sob condições de vácuo. A incidência do feixe de elétrons na amostra promove a emissão de elétrons secundários, retroespalhados, auger e absorvidos, assim como de raios-X característicos e de catodoluminescência. No raio-X, tipicamente sua faixa de energia estão entre 100 eV e 100 keV, apesar de algumas aplicações industriais e medicinais utilizarem raio X com energias da ordem e 1 KeV.

Ao MEV pode ser acoplado o sistema EDS (Energy Dispersive System), o qual possibilita a determinação da composição qualitativa e quantitativas das amostras, a partir da emissão de raios X característicos. Dentre as vantagem do sistema EDS, destacam-se os perfis e mapas químicos que possibilitam o estudo direcionado das amostras analisadas.

Uma das vantagens da utilização do MEV/EDS é a rapidez e facilidade na preparação das amostras, dependendo do objetivo da pesquisa. Para fins de análise, as amostras podem ser brutas, polidas ou até mesmo lapidadas, desde que as características morfológicas ou inclusões a serem estudas estejam expostas na superfície analisada, possibilitando sua interação com o feixe de elétrons [41].

2 – Materiais e Métodos

2.1- Aço IF-Ti

As chapas de aço IF galvanizadas foram fornecidas pela empresa Galvasud nas dimensões de 200mm X 150mm x 0,7mm e 200mm x 150 x 1,4mm. O galvanew (marca CSN para o galvannealed) é um revestimento desenvolvido para atender a indústria automobilística, sua avaliação de desempenho corrosivo torna-se produtiva somente após pintura realizada por esse seguimento.

A espessura do revestimento é de cerca de 7 a 9 micrometros. A temperatura de galvanização é entorno de 470ºC, e ocorre após o substrato ter passado pelo seu ciclo de recozimento, em temperaturas abaixo da crítica, permanecendo no campo inter-crítico em temperaturas e tempo correlacionados a diversas variáveis específicas da aplicação final:

Para a laminação a quente, a espessura e temperatura de entrada no laminador de tira a quente foram 38 mm e 1050ºC, respectivamente. A espessura final do laminado a quente foi de 3,5 mm e a temperatura de bobinamento foi de 600ºC. Após reduções a frio de 60% e 80%, as chapas com 1,4mm e 0,7mm de espessura, foram recozidas por 860ºC durante 60 e 40 segundos, respectivamente.

A composição química do aço IF microligado ao Ti, determinada pela CSN, é a seguinte:

C: 0,0034% máx.
Mn: 0,16% máx.
P: 0,015% máx.
S: 0,012% máx.
Al: 0,02 a 0,06%
Ti: 0,05 a 0,07%.
Outros elementos são residuais.

Das chapas como recebidas, foram cortadas amostras menores de 450mm x 330mm para o ensaio acelerado de corrosão. Houve a necessidade de serem feitos

pequenos furos de diâmetro 3mm, na parte superior das amostras, objetivando a inserção de um pedaço de arame para sustentar as amostras, na posição vertical, dentro da câmara de névoa salina.

2.2 – Ensaio de névoa salina

Os ensaios para simulação de ambiente corrosivo foram feitos na Unidade do CEFET em Nova Iguaçu no Laboratório de Metalografia onde está montada a câmara de Névoa Salina, Modelo BASS-USP – 02/2014 do fabricante USP. Basicamente, o procedimento de ensaio envolve a pulverização de uma solução salina sobre as amostras testadas. Isso é feito em uma câmara de temperatura controlada. A solução salina é composta de 5% de sal (cloreto de sódio – NaCl) a 35°C.

As amostras testadas são inseridas na câmara, e a solução salina é pulverizada como uma fina névoa sobre estas amostras. A temperatura dentro da câmara é controlada através de um termostato para mantê-la o máximo constante. Já que a pulverização é contínua, as amostras permanecem constantemente úmidas e, portanto, sujeitas à corrosão. Quanto a temperatura, a norma determina o ensaio de névoa salina a 35°C e de maneira continua, o ensaio proposto foi realizado em três temperaturas distintas, a primeira foi mantendo a temperatura padronizada a 35°C, a segunda reduzindo a temperatura em 10°C trabalhando assim com 25°C e a terceira aumentando a temperatura em 10°C em relação a padronizada, trabalhando assim com um temperatura de 45°C. Durante o aumento de temperatura a máquina não suportou a temperatura, ligando o alarme de alerta, assim reduzimos a temperatura até o limite da máquina que foi de 41,5°C, sofrendo assim somente um aumento de 6,5°C em relação a temperatura padrão.

Como a norma também determina um ensaio no tempo de 24 a 1000 horas de maneira interrupta optamos por fazer o ensaio por 48 horas e de maneira cíclica, para isso colocamos 6 amostras de cada tipo de aço em cada ensaio de temperatura, assim totalizou 36 amostras. Os procedimentos foram seguidos conforme a metodologia da ASTM B 117 com modificações nos padrões de temperatura e quanto o ciclo dos testes.

Os ensaios tiveram duração de 18 dias. Antes do início dos testes, as amostras foram pesadas e medidas. Os ensaios foram realizados a três temperaturas distintas, 25°C, 35°C e 45°C e para cada uma destas temperaturas, as amostras foram submetidas ao

ambiente salino por períodos de 8, 16, 24, 32, 40 e 48 horas. A pressão registrada durante os ensaios, na bomba de injeção da mistura salina dentro da câmara variou de 0,9 KgF/cm² até 1,0 KgF/cm². Ao término de cada intervalo de 8 horas de ensaio as amostras eram colocadas para fora da câmara e deixadas à temperatura ambiente para permitir sua completa secagem, por um período de tempo que variou de 12 à 21 horas. Antes do reinício de cada ciclo de ensaios, as amostras eram novamente pesadas e medidas.

As amostras foram identificadas da seguinte maneiras:

IFX'-X''-X''', aonde:

X' OS DOIS DÍGITOS REFERENTES A ESPESSURA DA AMOSTRA
X'' OS DOIS DÍGITOS DA TEMPERATURA DE ENSAIO
X''' É O NÚMERO DO CICLO DE ENSAIO DA AMOSTRA

Exemplo: IF0,7– 25-1

Para que as amostras sofressem uma corrosão de maneira homogênea as amostras foram amarradas nos suportes da máquina de maneira vertical, seguindo o mesmo padrão de testes anteriores.

A seguir, a Figura 2.1 mostra o posicionamento das amostras dentro da câmara durante os ensaios e a Figura 2.2 mostra a câmara sofrendo parada após a finalização de um dos ensaios.



Figura 2.1 - Amostras dispostas na câmara para início dos ensaios



Figura 2.2 – Câmara aberta após o ensaio de aceleração de corrosão realizado.

As amostras foram avaliadas no estado como recebido e após os ensaios de névoa salina por meio de microscopia ótica, microscopia eletrônica de varredura e difração de raios-x.

2.2.1 – Análise por Microscópio ótico

Na análise com microscópio ótico, foi utilizado o microscópio ótico da marca Olympus, modelo BX60M, e o programa Materials Extensions para a realização da contagem dos pontos de corrosão. Foram considerados 96 pontos distribuídos em duas imagens feitas em locais distintos da amostra (48 pontos na primeira imagem e 48 pontos na segunda imagem). Tais contagens foram feitas para todas as amostras, de 1 até 6, nas três temperaturas trabalhadas. Os pontos estavam sempre a uma mesma distância (100x100) possibilitando assim uma distribuição e análise homogêneas em todos as figuras.

2.2.2- Análise por difração de raios-X

As análises por difração de Raios-X, após o ensaio de névoa, salina foram realizadas utilizando o difratômetro da marca Panalytical, modelo X’Pert Pro, do

Laboratório de Cristalografia e de Difração de Raios-x do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) na Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). As medidas foram realizadas utilizando-se a radiação do tubo de cobre, com uma potência de 40 kV e 40 mA, intervalo de varredura com 2θ de 10º a 100º com passo de 0,05º e tempo de contagem de 150s por passo

2.2.3- Análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Para as análises no MEV, as amostras foram novamente cortadas em amostras ainda menores nas medidas de 10mm x 10mm. Foi utilizado o MEV do laboratório do CEFET Maracanã do modelo 688A-1SS da marca JEOL 5800LV (Noran Instruments). Com o MEV foi identificando os elementos presentes na amostra antes e depois do ensaio de corrosão.

3.0 – Resultados

3.1 – Ensaio de névoa

3.1.1 - Ensaios a 25°

Antes do início do ciclo de ensaios de corrosão sob névoa salina, todas as amostras foram pesadas e as dimensões referentes ao comprimento e largura foram tomadas. A tabela 3.1 apresenta estes resultados.

Tabela 3.1 – Peso (P), comprimento (C) e largura (L) das amostras de aço IF antes do início dos ciclos de ensaio de névoa salina a 25°C.

AMOSTRAS	IF 0,7 mm			AMOSTRAS	IF 1,4 mm		
	P. (g)	C. (mm)	L. (mm)		P. (g)	C. (mm)	L. (mm)
IF0,7-25-1	9,367	51,8	33,7	IF1,4-25-1	20,416	52,6	35,4
IF0,7-25-2	9,917	54,2	34,1	IF1,4-25-2	19,955	52,8	35,3
IF0,7-25-3	9,494	51,5	34,3	IF1,4-25-1	20,450	52,5	36,4
IF0,7-25-4	9,211	51,6	32,8	IF1,4-25-1	17,508	49,9	32,8
IF0,7-25-5	8,963	49,7	33,6	IF1,4-25-1	16,527	47,2	32,5
IF0,7-25-6	8,898	49,8	33,0	IF1,4-25-1	17,963	52,3	31,9

Após as primeiras 8 horas de ensaio e 12 horas de secagem, os resultados obtidos para os pesos e dimensões das amostras, estão relacionados na Tabela 3.2. Nota-se que já existe um aumento de peso em todas as amostras de IF 0,7mm. Para a espessura de 1,4 mm, nem todas as amostras apresentam um ganho de massa após o primeiro ciclo de ensaios.

Tabela 3.2 - Peso(P), comprimento (C) e largura (L) das amostras de aço IF após o primeiro ciclo de 8 horas de ensaio sob névoa salina, a 25°C e 12 horas de secagem ao ar.

AMOSTRAS	IF 0,7 mm			AMOSTRAS	IF 1,4 mm		
	P. (g)	C. (mm)	L. (mm)		P. (g)	C. (mm)	L. (mm)
IF0,7-25-1	9,374	51,7	33,7	IF1,4-25-1	20,416	52,6	35,3
IF0,7-25-2	9,930	54,2	34,1	IF1,4-25-2	19,957	52,7	35,1
IF0,7-25-3	9,501	51,5	34,3	IF1,4-25-3	20,458	52,5	36,4
IF0,7-25-4	9,222	51,7	32,9	IF1,4-25-4	17,510	49,9	32,7
IF0,7-25-5	8,972	49,7	33,6	IF1,4-25-5	16,527	47,1	32,5
IF0,7-25-6	8,905	49,8	33,1	IF1,4-25-6	17,967	52,3	31,8

Na Figura 3.1 abaixo, pode-se observar as fotos das amostras número 01 de aço IF com 0,7mm de espessura (IF0,7–25-1) e de aço IF com 1,4mm de espessura (IF1,4-25-1), que foram retiradas após 8 horas de ensaio e 12 horas de secagem.

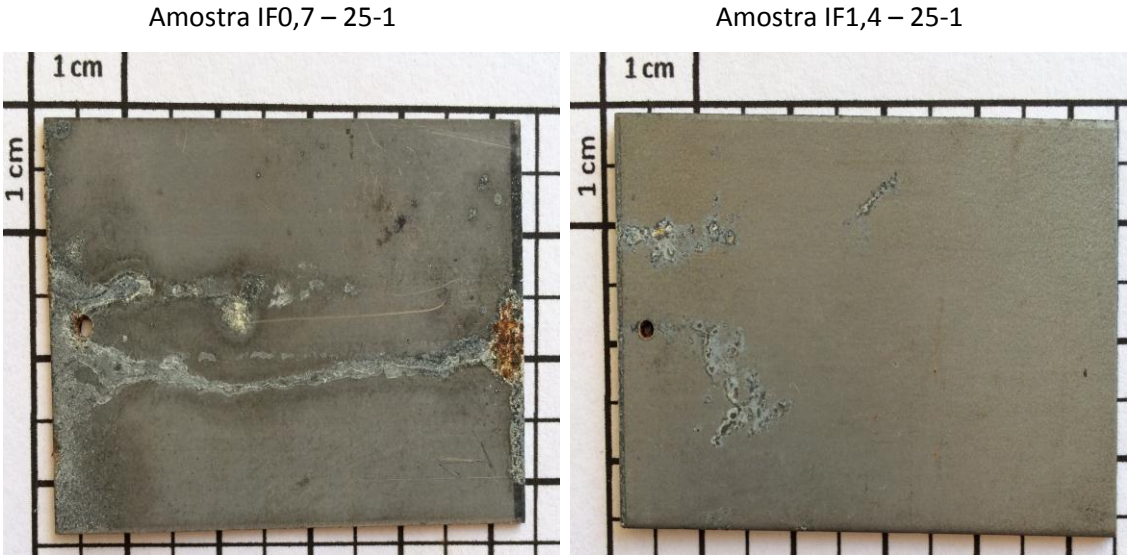


Figura 3.1 - Amostras IF0,7–25-1 e IF1,4-25-1, após 8 horas de ensaio, a 25°C

No segundo ciclo de ensaios, foram colocadas somente 5 amostras de cada espessura. Ao término do ensaio, as amostras tiveram novamente seu peso e dimensões medidos e os resultados estão dispostos na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Peso (P), comprimento (C) e largura (L) das amostras de aço IF após o segundo ciclo de 8 horas de ensaio sob névoa salina, 25°C e 12 horas de secagem ao ar.

AMOSTRAS	IF 0,7 mm			AMOSTRAS	IF 1,4 mm		
	P. (g)	C. (mm)	L. (mm)		P. (g)	C. (mm)	L. (mm)
IF0,7-25-2	9,940	54,4	34,3	IF1,4-25-2	19,968	52,4	35,3
IF0,7-25-3	9,517	51,4	34,4	IF1,4-25-3	20,460	52,4	36,4
IF0,7-25-4	9,237	51,8	32,9	IF1,4-25-4	17,515	50,0	32,7
IF0,7-25-5	8,991	49,5	33,7	IF1,4-25-5	16,538	47,3	32,5
IF0,7-25-6	8,920	49,6	33,2	IF1,4-25-6	17,972	52,5	31,9

Abaixo, na Figura 3.2, podemos observar as fotos das amostras do aço IF 0,7mm (IF0,7-25-2) e do aço IF 1,4mm (IF1,4-25-2), que foram ensaiadas por 16 horas respectivamente. Já é possível observar um aumento de massa em todas as amostras o que

demonstras que a formação dos óxidos e dos sais, do processo de corrosão, continua ocorrendo.

Amostra IF0,7 – 25-2 Amostra IF1,4 – 25-2

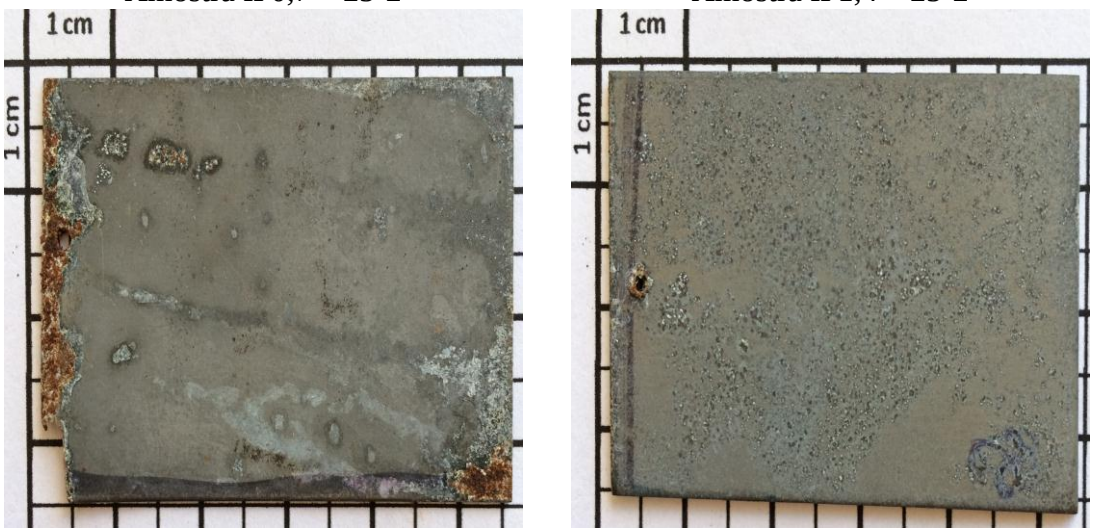


Figura 3.2 – Amostras IF0,7–25-2 e IF1,4-25-2, após 16 horas de ensaio, a 25°C

No terceiro ciclo de ensaios, foram colocadas somente 4 amostras de cada espessura. Os valores de peso e dimensões registrados ao término deste ciclo de ensaios, estão apresentados na Tabela 3.4. Por motivos operacionais, as amostras que participaram deste ciclo, tiveram um período de secagem maior do que as anteriores, 19 horas.

Tabela 3.4 - Peso(P), comprimento (C) e largura (L) das amostras de aço IF após o terceiro ciclo de 8 horas de ensaio sob névoa salina, 25°C e 19 horas de secagem ao ar.

AMOSTRAS	IF 0,7 mm			AMOSTRAS	IF 1,4 mm		
	P. (g)	C. (mm)	L. (mm)		P. (g)	C. (mm)	L. (mm)
IF0,7-25-3	9,522	51,4	34,3	IF1,4-25-3	20,470	52,3	36,4
IF0,7-25-4	9,238	51,8	33,2	IF1,4-25-4	17,516	50,0	32,7
IF0,7-25-5	8,997	49,6	33,6	IF1,4-25-5	16,538	47,5	32,8
IF0,7-25-6	8,922	49,5	33,3	IF1,4-25-6	17,974	52,4	31,9

A Figura 3.3 mostra as fotos das amostras IF0,7-25-3 e IF1,4-25-3 após o terceiro ciclo de ensaio, total de 24 horas de ensaios, descontínuos, em câmara de névoa salina.

Amostra IF0,7-25-3 Amostra IF1,4-25-3

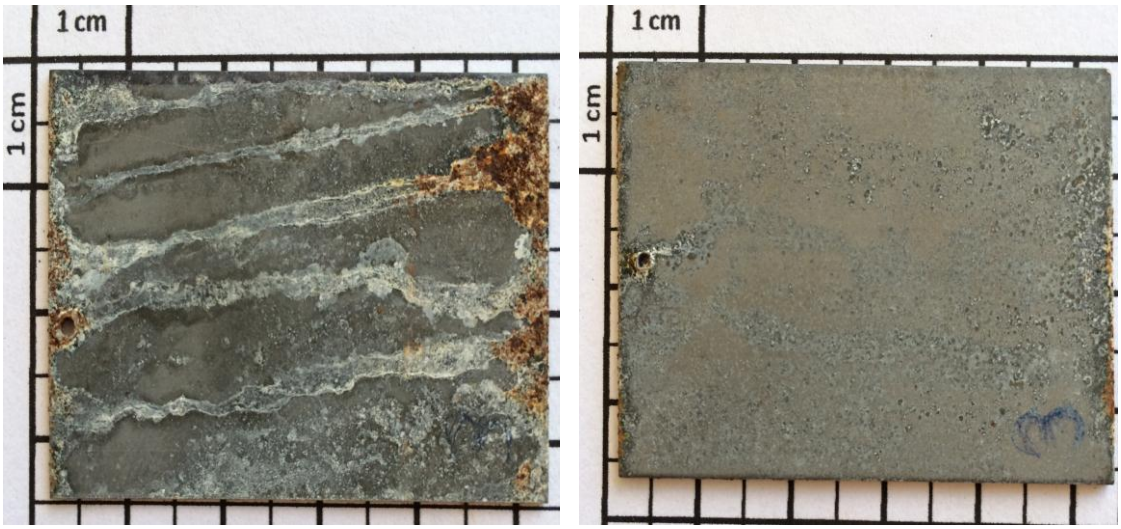


Figura 3.3 – Amostras IF0,7-25-3 e IF1,4-25-3, após 24 horas de ensaio, a 25°C e secagem ao ar.

No quarto dia de ensaio (quarto ciclo), foram colocadas apenas 3 amostras de aço IF 0,7mm e 3 amostras de aço IF 1,4mm.

As amostras, após mais 8 horas de ensaios, foram secas em temperatura ambiente por um período de 17 horas.

Os resultados obtidos após pesagem e medição estão apresentados na Tabela 3.5 abaixo. Deve-se destacar que as amostras IF 0,7mm, pelo aumento de massa, estão visivelmente sofrendo um processo maior de corrosão que as amostras IF 1,4mm.

Tabela 3.5 - Peso(P), comprimento (C) e largura (L) das amostras de aço IF após o quarto ciclo de 8 horas de ensaio sob névoa salina, 25°C e 17 horas de secagem ao ar.

AMOSTRAS	IF 0,7 mm			AMOSTRAS	IF 1,4 mm		
	P. (g)	C. (mm)	L. (mm)		P. (g)	C. (mm)	L. (mm)
IF0,7-25-4	9,250	51,6	32,7	IF1,4-25-4	17,518	49,9	32,2
IF0,7-25-5	9,015	49,4	33,3	IF1,4-25-5	16,539	47,2	32,4
IF0,7-25-6	8,929	49,4	33,0	IF1,4-25-6	17,976	52,4	31,6

As fotografias das amostras IF-07-25-4 e IF-1,4-25-4, ensaiadas por um total de 32 horas, estão apresentadas na Figura 3.4.

Amostra IF 0,7 – 25- 4 Amostra IF 1,4 – 25- 4

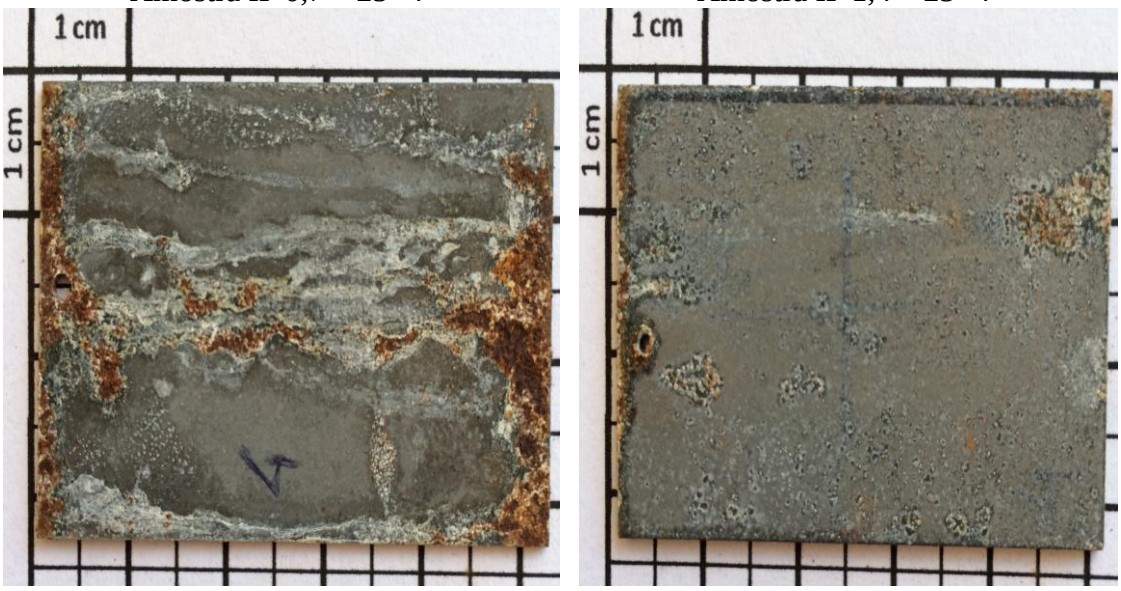


Figura 3.4 – Amostras IF0,7-25-4 e IF1,4-25-4 , após 32 horas de ensaio, a 25°C e secagem ao ar.

Somente 2 amostras de cada uma das espessuras de chapa foram utilizadas no quinto ciclo de ensaios. Após o final deste ciclo, as amostras secaram ao ar por 17 horas. Seus pesos e dimensões estão relacionados na Tabela 3.6, a seguir. Nesta condição já é possível observar, nas extremidades das amostras IF 0,7mm o surgimento de pontos de corrosão.

Tabela 3.6 - Peso(P), comprimento (C) e largura (L) das amostras de aço IF após o quinto ciclo de 8 horas de ensaio sob névoa salina, 25°C e 17 horas de secagem ao ar.

AMOSTRAS	IF 0,7 mm			AMOSTRAS	IF 1,4 mm		
	P. (g)	C. (mm)	L. (mm)		P. (g)	C. (mm)	L. (mm)
IF0,7-25-5	9,017	49,5	33,3	IF1,4-25-5	16,541	47,1	32,5
IF0,7-25-6	8,931	49,4	33,1	IF1,4-25-6	17,978	52,5	31,6

Na Figura 3.5 abaixo podemos observar as fotos das amostras IF0,7-25-5 e IF1,4-25-5, após 40 horas de ensaio intermitente de névoa salina.

Amostra IF0,7 – 25-5 Amostra IF1,4 – 25-5

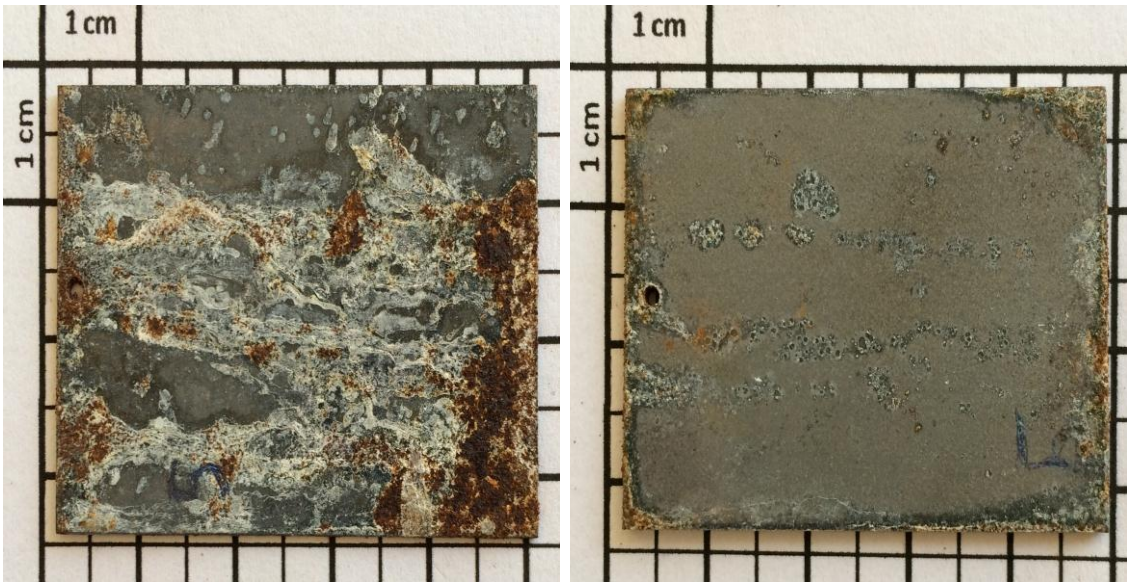


Figura 3.5 – Amostras de aço: IF0,7-25-5e IF1,4-25-5, após 40 horas de ensaio, a 25°C e secagem ao ar.

Duas amostras, uma de cada espessura de chapa, participaram do sexto e último ciclo de ensaios, totalizando um número de 48 horas sob o efeito do ambiente salino e 95 horas e meia fora deste ambiente (período de secagem).

A Tabela 3.7 mostra, portanto, os resultados de pesos e dimensões das amostras IF6-072 e IF6-142 verificados após as últimas 8 horas de ensaio e secagem por um período de 16 horas.

Tabela 3.7 - Peso(P), comprimento (C) e largura (L) das amostras de aço IF após o sexto ciclo de 8 horas de ensaio sob névoa salina, 25°C e 16 horas de secagem ao ar.

AMOSTRAS	IF 0,7 mm			AMOSTRAS	IF 1,4 mm		
	P. (g)	C. (mm)	L. (mm)		P. (g)	C. (mm)	L. (mm)
IF0,7-25-5	8,933	49,2	32,9	IF1,4-25-6	17,979	52,5	31,6

Na figura 3.6 abaixo podemos observar as fotos das amostras IF0,7-25-6 e IF1,4-25-6, retiradas após 48 horas de ensaio. Observa-se o surgimento de uma corrosão por placas na amostra de IF0,7-25-6, enquanto na amostra de IF1,4-25-6 o ensaio nessa temperatura não alterou significativamente o aspecto superficial da amostra.

Amostra IF0,7 – 25-6 Amostra IF1,4 – 25-6

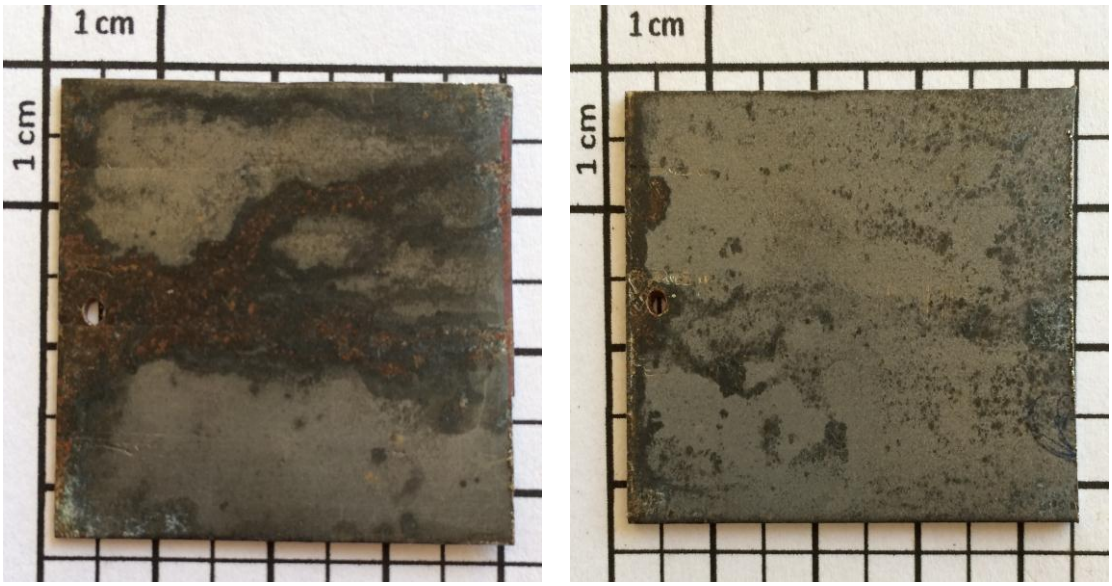


Figura 3.6 – Amostras de aço IF0,7-25-6 e IF1,4-25-6, após 48 horas de ensaio, a 25°C e secagem ao ar.

3.1.2 - Ensaios a 35°C

Seguindo a mesma sequência de procedimentos adotados para os ensaios a 25°C, serão apresentados, a seguir, os resultados obtidos após os ensaios de névoa salina realizados, desta vez, com a temperatura no interior da câmara igual a 35°C. Similar ao que foi feito anteriormente, as 6 amostras de cada espessura de chapa foram pesadas e medidas antes do início dos ensaios. Estas informações, que servirão como base para a avaliação dos resultados, estão listadas na Tabela 3.8.

Tabela 3.8 – Peso (P), comprimento (C) e largura (L) das amostras de aço IF antes do início dos ensaios de névoa salina a 35°C.

AMOSTRAS	IF 0,7 mm			AMOSTRAS	IF 1,4 mm		
	P. (g)	C. (mm)	L. (mm)		P. (g)	C. (mm)	L. (mm)
IF0,7-35-1	9,918	53,1	33,9	IF1,4-35-1	16,938	47,7	32,6
IF0,7-35-2	9,477	52,4	32,8	IF1,4-35-2	18,142	46,1	36,2
IF0,7-35-3	9,654	52,8	33,2	IF1,4-35-3	18,718	52,7	32,7
IF0,7-35-4	9,500	52,4	33,0	IF1,4-35-4	19,239	49,7	35,5
IF0,7-35-5	9,520	51,1	34,0	IF1,4-35-5	17,546	49,4	32,3
IF0,7-35-6	9,308	51,4	32,7	IF1,4-35-6	18,978	52,0	33,0

Após o primeiro ciclo de 8 horas de ensaio, as amostras secaram por 12 horas e tiveram seus pesos e dimensões verificados e relacionados na Tabela 3.9. Após o primeiro ciclo de ensaios à 35°C, já foi possível observar um ganho de massa em todas as amostras de IF 0,7 e de IF 1,4, fato esse que só tinha ocorrido nas amostras de IF 0,7 e algumas de IF 1,4 na temperatura de 25°C

Tabela 3.9 - Peso(P), comprimento (C) e largura (L) das amostras de aço IF após o primeiro ciclo de 8 horas de ensaio sob névoa salina, á 35°C e 16 horas de secagem ao ar.

AMOSTRAS	IF 0,7 mm			AMOSTRAS	IF 1,4 mm		
	P. (g)	C. (mm)	L. (mm)		P. (g)	C. (mm)	L. (mm)
IF0,7-35-1	9,924	53,1	33,8	IF1,4-35-1	16,940	47,4	32,2
IF0,7-35-2	9,485	52,6	32,7	IF1,4-35-2	18,146	47,1	31,0
IF0,7-35-3	9,660	52,9	33,0	IF1,4-35-3	18,723	52,7	32,6
IF0,7-35-4	9,511	52,2	33,1	IF1,4-35-4	19,242	49,7	35,5
IF0,7-35-5	9,531	50,8	34,0	IF1,4-35-5	17,554	49,6	32,5
IF0,7-35-6	9,319	51,6	32,7	IF1,4-35-6	18,987	52,0	33,1

Na Figura 3.7, podemos observar as fotos das amostras IF0,7-35-1 e IF1,4-35-1 retiradas após 8 horas de ensaio e 12 horas de secagem.

Amostra IF0,7-35-1 Amostra IF1,4-35-1

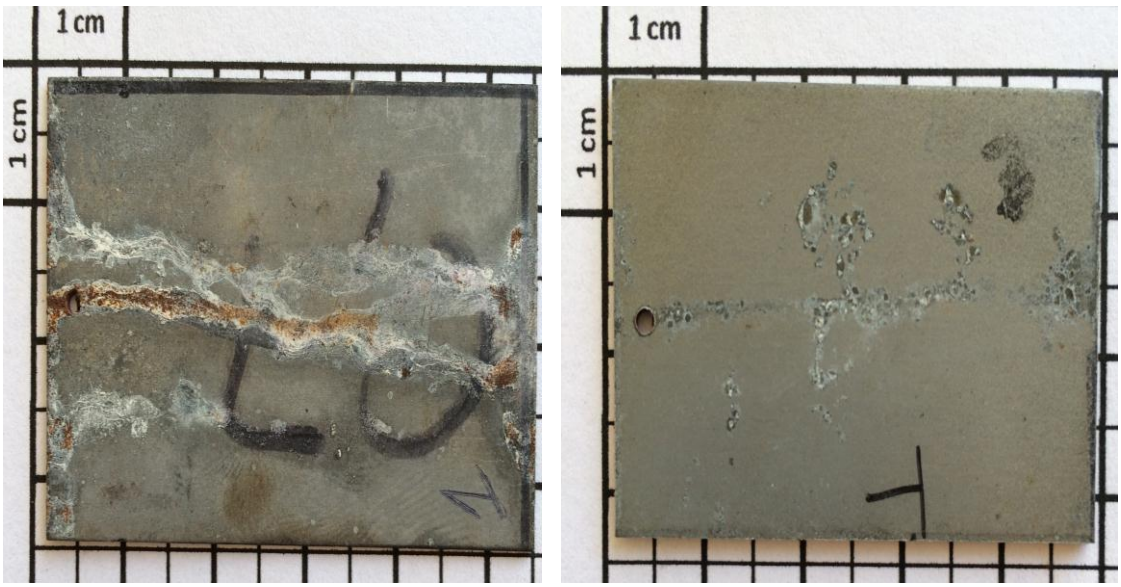


Figura 3.7– Amostras IF0,7-35-1e IF1,4-35-1, após 8 horas de ensaio, a 35°C e secagem ao ar.

Após o primeiro ciclo de ensaios e da amostras IF0,7-35-1e IF1,4-35-1 retiradas, as demais foram colocadas novamente na câmara para o segundo ciclo de ensaio que durou mais 8 horas, totalizando assim 16 horas de ensaio.

Tabela 3.10 - Peso, comprimento e largura das amostras de aço IF, após o segundo ciclo de 8 horas de ensaio sob névoa salina, a 35°C e 16 horas de secagem ao ar

AMOSTRAS	IF 0,7 mm			AMOSTRAS	IF 1,4 mm		
	P. (g)	C. (mm)	L. (mm)		P. (g)	C. (mm)	L. (mm)
IF0,7-35-2	9,494	52,5	32,6	IF1,4-35-2	18,151	45,9	30,9
IF0,7-35-3	9,672	52,9	32,8	IF1,4-35-3	18,727	52,5	32,6
IF0,7-35-4	9,517	52,2	32,7	IF1,4-35-4	19,249	49,7	35,2
IF0,7-35-5	9,536	50,7	33,9	IF1,4-35-5	17,556	49,3	32,4
IF0,7-35-6	9,324	51,4	32,4	IF1,4-35-6	18,988	51,8	33,0

A Figura 3.8 abaixo, mostra o aspecto das amostras IF0,7-35-2 e IF1,4-35-2, ensaiadas durante 2 ciclos de 8 horas cada e secas por um tempo total de 28 horas.

Amostra IF0,7 – 35-2 Amostra IF1,4 – 35-2

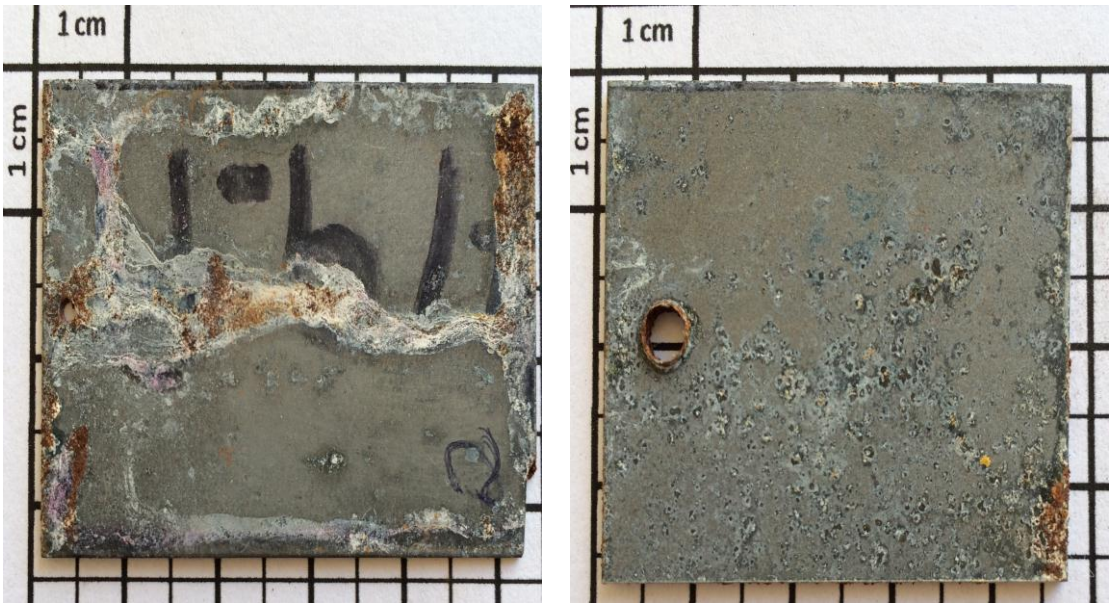


Figura 3.8 – Amostras IF0,7-35-2 e IF1,4-35-2, após 16 horas de ensaio, a 35°C e secagem ao ar.

Para o terceiro ciclo de ensaios a 35°C, foram colocadas 4 amostras de cada espessura que, após mais 8 horas de ensaio, secaram ao ar por 21:00 horas. A Tabela 3.11 apresenta os dados dimensionais obtidos após este ciclo. Iremos observar que o ganho de

massa continua crescendo gradativamente. Já nessa fase, é possível visualizar o aparecimento de corrosão nas extremidades das amostras IF0,7-35-3 e IF1,4-35-3, conforme mostrado na Figura 3.9.

Tabela 3.11 - Peso(P), comprimento (C) e largura (L) das amostras de aço IF após o terceiro ciclo de 8 horas de ensaio sob névoa salina, a 35°C e 21 horas de secagem ao ar.

AMOSTRAS	IF 0,7 mm			AMOSTRAS	IF 1,4 mm		
	P. (g)	C. (mm)	L. (mm)		P. (g)	C. (mm)	L. (mm)
IF0,7-35-3	9,681	52,7	33,0	IF1,4-35-3	18,733	52,5	32,5
IF0,7-35-4	9,528	52,0	32,0	IF1,4-35-4	19,252	49,4	35,3
IF0,7-35-5	9,545	50,5	33,7	IF1,4-35-5	17,556	49,4	32,5
IF0,7-35-6	9,334	51,4	31,6	IF1,4-35-6	18,988	51,9	32,9

Durante este ciclo, a temperatura no interior da câmara, que no início do ensaio era 35,2°C, chegou a 36,8°C ao término do ensaio.

Amostra IF0,7-35-3 Amostra IF1,4-35-3

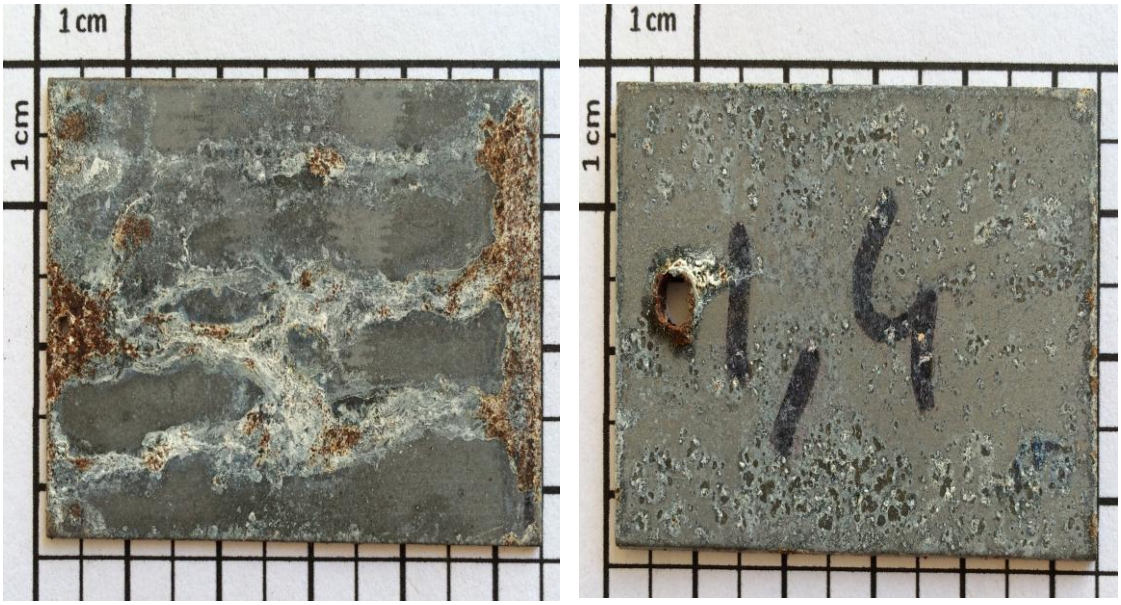


Figura 3.9 – Amostras IF0,7-35-3 e IF1,4-35-3, após 24 horas de ensaio, a 35°C e secagem ao ar.

Ao final do quarto ciclo de ensaios as 6 amostras restantes, 3 de aço 0,7mm, e 3 de 1,4mm, foram colocadas para secagem por 15 horas. O peso e as dimensões destas 6 amostras estão apresentados na Tabela 3.12.

Tabela 3.12 - Peso(P), comprimento (C) e largura (L) das amostras de aço IF após quarto ciclo de 8 horas de ensaio sob névoa salina, 35°C e 15 horas de secagem ao ar.

AMOSTRAS	IF 0,7 mm			AMOSTRAS	IF 1,4 mm		
	P. (g)	C. (mm)	L. (mm)		P. (g)	C. (mm)	L. (mm)
IF0,7-35-4	9,536	51,1	32,8	IF1,4-35-4	19,252	49,3	35,3
IF0,7-35-5	9,548	50,7	33,8	IF1,4-35-5	17,558	49,4	32,4
IF0,7-35-6	9,335	51,4	32,7	IF1,4-35-6	18,991	51,9	33,0

As fotografias das amostras ensaiadas, IF0,7-35-4 e IF1,4-35-4, estão dispostas na Figura 3.10.

Amostra IF0,7-35-4 Amostra IF1,4-35-4

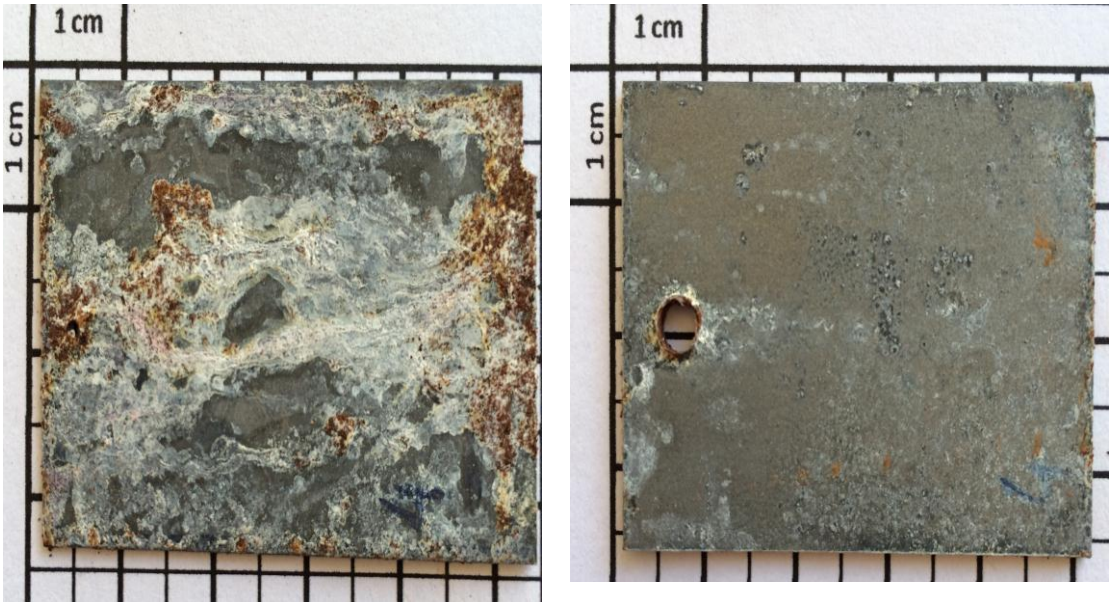


Figura 3.10 – AmostrasIF0,7-35-4e IF1,4-35-4, após 32 horas de ensaio, a 35°C e secagem ao ar.

O ensaio referente ao quinto ciclo de 8 horas sob a ação de ambiente salino foi realizado em um total de 4 amostras, 2 de cada espessura de chapa, que após um período de 17 horas de secagem ao ar tiveram seus pesos e dimensões verificadas e listadas na Tabela 3.13 colocada a seguir.

Tabela 3.13 – Peso (P), comprimento (C) e largura (L) das amostras de aço IF após quinto ciclo de 8 horas de ensaio sob névoa salina, 35°C e 17 horas de secagem ao ar.

AMOSTRAS	IF 0,7 mm			AMOSTRAS	IF 1,4 mm		
	P. (g)	C. (mm)	L. (mm)		P. (g)	C. (mm)	L. (mm)
IF0,7-35-5	9,557	50,90	32,98	IF1,4-35-5	17,560	49,72	32,48
IF0,7-35-6	9,342	51,68	32,72	IF1,4-35-6	18,994	52,16	33,28

A Figura 3.11 abaixo, apresenta as amostras IF0,7-35-5 e IF1,4-35-5, já secas, após 40 horas descontínuas de exposição a névoa salina.

Amostra IF0,7 – 35-5 Amostra IF1,4 – 35-5

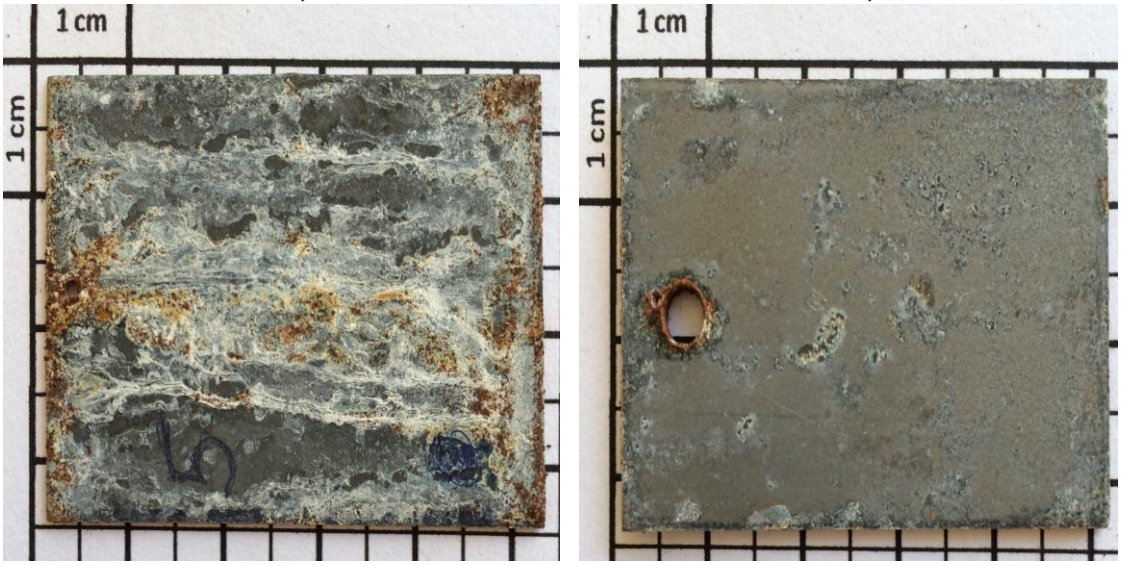


Figura 3.11 – Amostras: IF0,7-35-5 e IF1,4-35-5, após 40 horas de ensaio, a 35°C e secagem ao ar.

A Tabela 3.14 e a Figura 3. 12 mostram, respectivamente, dados dimensionais e aspecto superficial das duas amostras de aço IF ensaiadas durante 6 ciclos de 8 horas, a 35°C, totalizando 48 horas de exposição à névoa salina e 96 horas de secagem.

Tabela 3.14 - Peso (P), comprimento (C) e largura (L) das amostras de aço IF após sexto ciclo de 8 horas de ensaio sob névoa salina, 35°C e 16 horas de secagem ao ar.

AMOSTRAS	IF 0,7 mm			AMOSTRAS	IF 1,4 mm		
	P. (g)	C. (mm)	L. (mm)		P. (g)	C. (mm)	L. (mm)
IF0,7-35-6	9,344	51,68	32,76	IF1,4-35-6	18,998	52,04	33,20

A Figura 3.12 abaixo, apresenta as amostras IF0,7-35-6 e IF1,4-35-6, já secas, após 48 horas descontínuas de exposição a névoa salina.

Amostra IF0,7-35-6 Amostra IF1,4-35-6

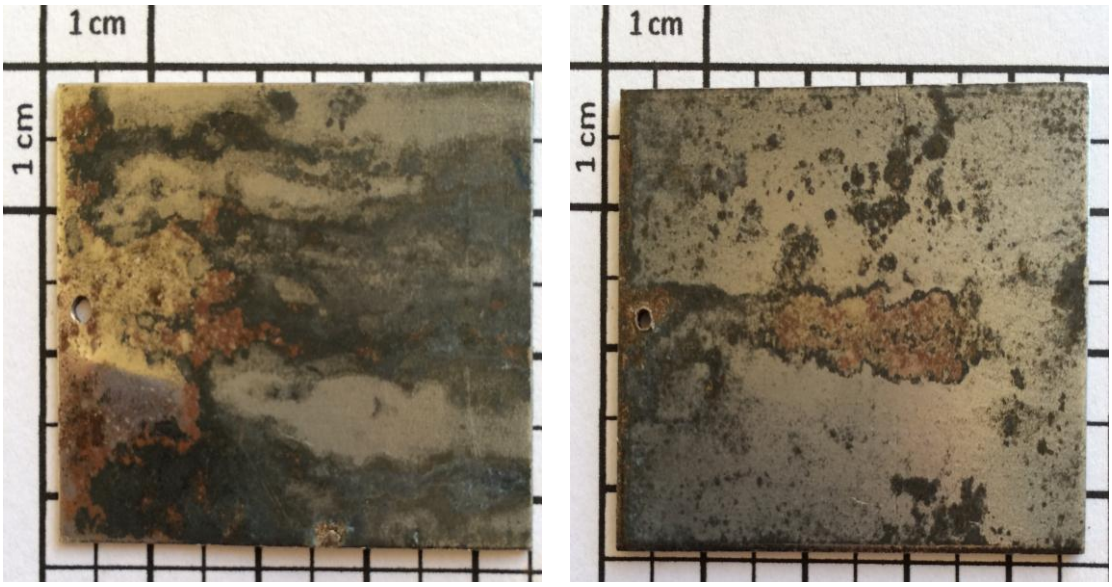


Figura 3.12– Amostras IF0,7-35-6e IF1,4-35-6, após 48 horas de ensaio, a 35°C e secagem ao ar.

3.1.3- Ensaios a 41,5°C

Nesta terceira fase dos ensaios, o objetivo foi elevar a temperatura para 45°C, mantendo a mesma diferença de temperatura, 10°C, usada entre a primeira e a segunda fases do experimento. Durante o ensaio, no entanto, o alarme de segurança da máquina foi acionado, e a temperatura de operação precisou ser reduzida para 41,5°C. Esta, passou, portanto, a ser a temperatura limite para o ensaio, pois acima desta temperatura o alarme de segurança era acionado.

Conforme os procedimentos anteriores, seis amostras de cada espessura foram colocadas na câmara de névoa salina e ensaiadas durante 8 horas consecutivas. A Tabela 3.15 mostra os respectivos pesos e dimensões de cada uma das amostras antes do início do primeiro ciclo de ensaios.

Tabela 3.15 - Peso(P), comprimento (C) e largura (L) das amostras de aço IF antes do início dos ciclos de 8 horas de ensaio sob névoa salina, a 41,5°C.

AMOSTRAS	IF 0,7 mm			AMOSTRAS	IF 1,4 mm		
	P. (g)	C. (mm)	L. (mm)		P. (g)	C. (mm)	L. (mm)
IF0,7-41-1	9,742	53,24	32,94	IF1,4-41-1	19,115	55,08	32,00
IF0,7-41-2	9,573	51,90	33,46	IF1,4-41-2	18,810	55,06	33,30
IF0,7-41-3	9,792	53,24	33,44	IF1,4-41-3	18,886	55,26	31,50
IF0,7-41-4	9,268	51,50	32,94	IF1,4-41-4	18,790	52,46	32,90
IF0,7-41-5	9,669	51,58	34,10	IF1,4-41-5	18,448	52,00	32,72
IF0,7-41-6	9,094	49,08	33,68	IF1,4-41-6	21,749	54,00	36,40

Ao final do primeiro ciclo, as amostras foram secas ao ar por 11 horas. Após serem secas, as amostras foram pesadas e medidas. A Tabela 3.16, a seguir, mostra esses dados.

Tabela 3.16 - Peso(P), comprimento (C) e largura (L) das amostras de aço IF após primeiro ciclo de 8 horas de ensaio sob névoa salina, 41,5°C e 11 horas de secagem ao ar.

AMOSTRAS	IF 0,7 mm			AMOSTRAS	IF 1,4 mm		
	P. (g)	C. (mm)	L. (mm)		P. (g)	C. (mm)	L. (mm)
IF0,7-41-1	9,750	53,58	33,00	IF1,4-41-1	19,119	54,98	31,96
IF0,7-41-2	9,583	51,96	33,58	IF1,4-41-2	18,821	52,00	33,14
IF0,7-41-3	9,800	53,36	33,44	IF1,4-41-3	18,898	55,00	31,62
IF0,7-41-4	9,281	51,48	32,88	IF1,4-41-4	18,801	52,60	33,96
IF0,7-41-5	9,685	51,66	34,12	IF1,4-41-5	18,457	52,04	32,70
IF0,7-41-6	9,114	48,92	33,82	IF1,4-41-6	21,763	54,82	36,40

A Figura 3.13 apresenta a fotografia das amostras IF0,7-41-1 e IF1,4-41-1 ao término do primeiro ciclo de ensaios.

Amostra IF0,7-41-1 Amostra IF1,4-41-1

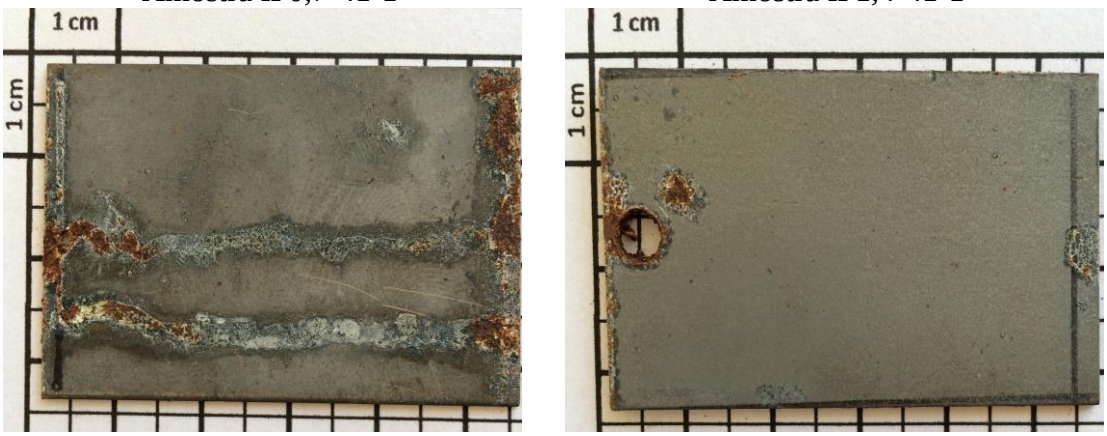


Figura 3.13 – Amostras IF0,7-41-1 e IF1,4-41-1, após 8 horas de ensaio, a 41,5°C e secagem ao ar.

Após a pesagem e medição das amostras ensaiadas durante 8 horas, cinco das seis amostras retornaram para a câmara aonde se deu o início do segundo ciclo de 8 horas de ensaio.

Após este período de tempo, as amostras foram secas ao ar por 16 horas e novamente pesadas e medidas. Seguem, na Tabela 3,17, os dados coletados.

Tabela 3.17 - Peso(P), comprimento (C) e largura (L) das amostras de aço IF após segundo ciclo de 8 horas de ensaio sob névoa salina, 41,5°C e 16 horas de secagem ao ar.

AMOSTRAS	IF 0,7 mm			AMOSTRAS	IF 1,4 mm		
	P. (g)	C. (mm)	L. (mm)		P. (g)	C. (mm)	L. (mm)
IF0,7-41-2	9,602	52,00	33,54	IF1,4-41-2	18,822	52,00	33,32
IF0,7-41-3	9,814	53,50	33,40	IF1,4-41-3	18,900	55,10	31,56
IF0,7-41-4	9,295	51,42	32,92	IF1,4-41-4	18,805	52,66	33,00
IF0,7-41-5	9,698	51,60	34,10	IF1,4-41-5	18,462	52,24	32,66
IF0,7-41-6	9,123	49,00	33,88	IF1,4-41-6	21,766	54,78	36,52

Repetindo os procedimentos adotados anteriormente, duas amostras, uma de cada espessura, foram retiradas do grupo e fotografadas (Figura 3.14). As quatro amostras restantes voltaram para a câmara para serem novamente ensaiadas, dando início ao terceiro ciclo de 8 horas de ensaio.

Amostra IF0,7-41-2 Amostra IF1,4-41-2

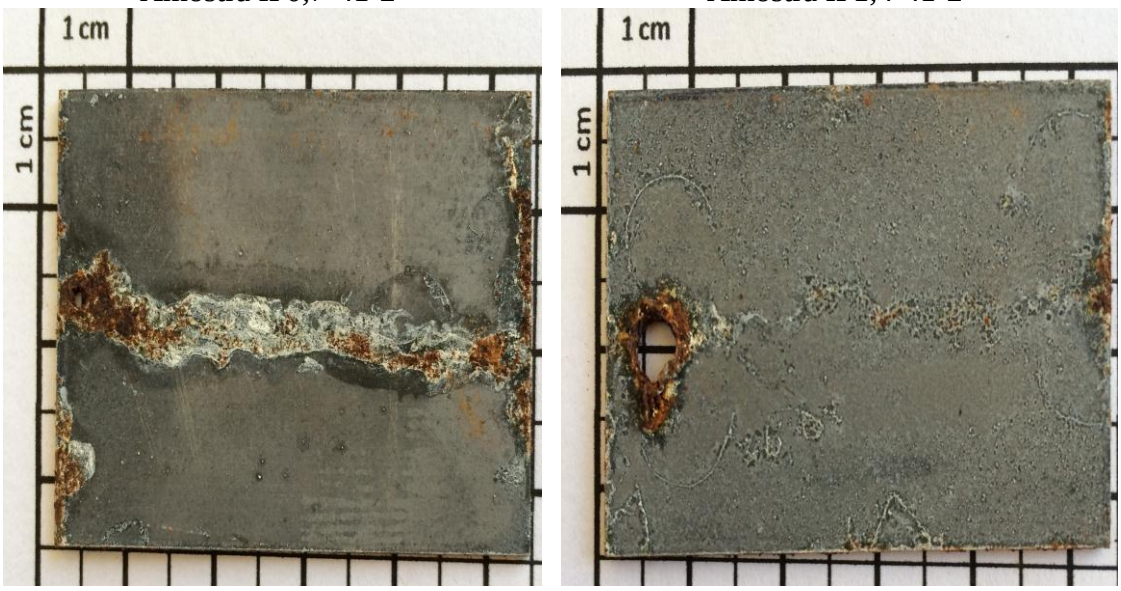


Figura 3.14 – Amostras IF0,7-41-2 e IF1,4-41-2, após 16 horas de ensaio, a 41,5°C e secagem ao ar.

Ao término do terceiro ciclo de ensaios, todas as amostras foram retiradas da câmara, secas, desta vez por um período de 21 horas e, mais uma vez, pesadas e medidas. A Tabela 3.18 mostra esses dados.

Tabela 3.18 - Peso(P), comprimento (C) e largura (L) das amostras de aço IF após o término do terceiro ciclo de 8 horas de ensaio sob névoa salina, 41,5°C e 21 horas de secagem ao ar.

AMOSTRAS	IF 0,7 mm			AMOSTRAS	IF 1,4 mm		
	P. (g)	C. (mm)	L. (mm)		P. (g)	C. (mm)	L. (mm)
IF0,7-41-3	9,823	53,42	33,50	IF1,4-41-3	18,905	55,28	31,46
IF0,7-41-4	9,306	51,44	32,96	IF1,4-41-4	18,810	52,50	32,84
IF0,7-41-5	9,712	51,66	34,10	IF1,4-41-5	18,468	52,18	32,76
IF0,7-41-6	9,141	49,00	33,76	IF1,4-41-6	21,770	54,72	36,50

A Figura 3.15 mostra a fotografia das amostras IF0,7-41-3 e IF1,4-41-3 ensaiadas durante 24 horas, em 3 ciclos de 8 horas cada.

Amostra IF0,7-41-3 Amostra de IF1,4-41-3

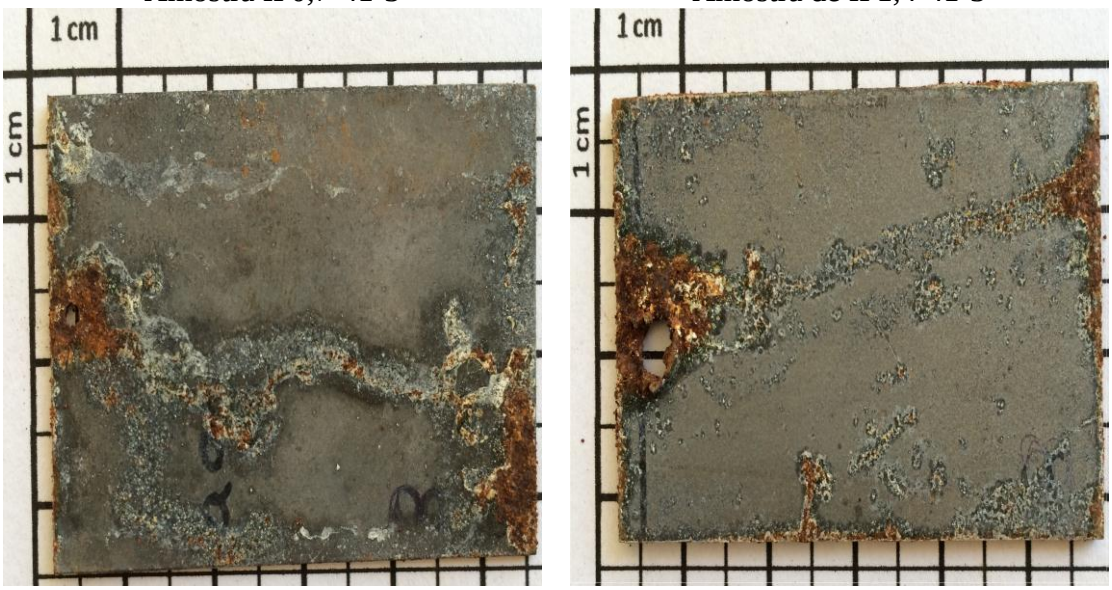


Figura 3.15 – Amostras: IF0,7-41-3 e IF1,4-41-3, após 24 horas de ensaio, a 41,5°C e secagem ao ar.

Seis amostras ao todo, três de cada espessura de chapa, participaram do quarto ciclo de testes. Ao final desta etapa, as amostras foram secas por 16 horas, medidas e pesadas. Os resultados obtidos aparecem na Tabela 3.19 abaixo.

Tabela 3.19 - Peso(P), comprimento (C) e largura (L) das amostras de aço IF após quarto ciclo de 8 horas de ensaio sob névoa salina, a 41,5°C e 16 horas de secagem ao ar.

AMOSTRAS	IF 0,7 mm			AMOSTRAS	IF 1,4 mm		
	P. (g)	C. (mm)	L. (mm)		P. (g)	C. (mm)	L. (mm)
IF0,7-41-4	9,318	51,42	33,00	IF1,4-41-4	18,810	52,58	32,98
IF0,7-41-5	9,723	51,68	34,08	IF1,4-41-5	18,468	52,08	32,88
IF0,7-41-6	9,154	49,10	33,92	IF1,4-41-6	21,771	54,78	36,52

As amostras IF0,7-41-4 e IF1,4-41-4 foram separadas do grupo de 6 amostras e fotografadas (Figura 3.16). As demais voltaram para a câmara para o próximo ciclo de ensaio.

Amostra IF0,7-41-4 Amostra IF1,4-41-4

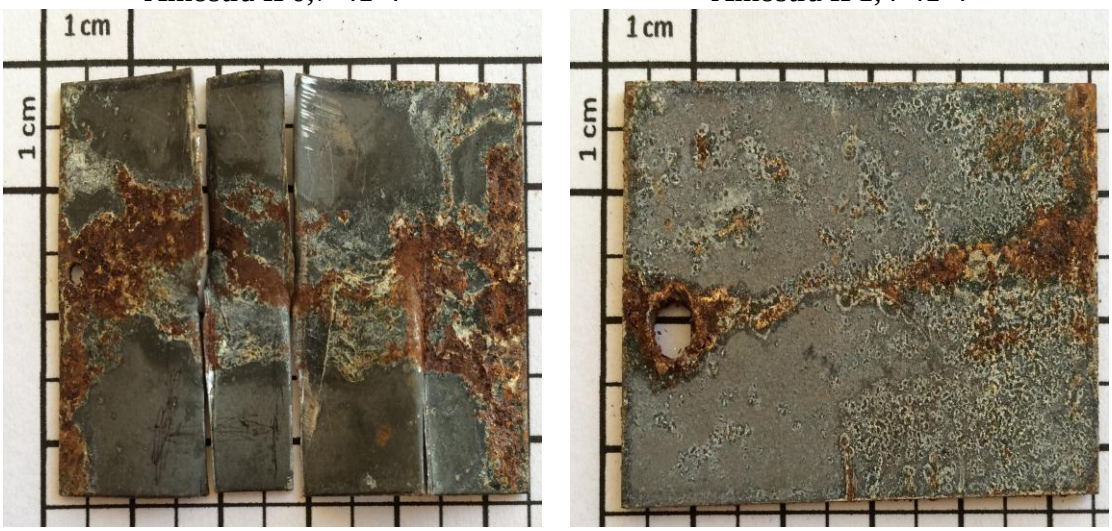


Figura 3.16 - Amostras: IF0,7-41-4 e IF1,4-41-4, após 32 horas de ensaio, a 41,5°C e secagem ao ar.

Após o término do quinto ciclo de 8 horas de ensaio, as amostras IF0,7-41-5 e IF1,4-41-5, foram secas por 16 horas, pesadas e medidas. Os resultados são mostrados na Tabela 3.20

Tabela 3.20 - Peso(P), comprimento (C) e largura (L) das amostras de aço IF após quinto ciclo de 8 horas de ensaio sob névoa salina, 41,5°C e 16 horas de secagem no ar.

AMOSTRAS	IF 0,7 mm			AMOSTRAS	IF 1,4 mm		
	P. (g)	C. (mm)	L. (mm)		P. (g)	C. (mm)	L. (mm)
IF0,7-41-5	9,730	51,58	34,20	IF1,4-41-5	18,473	52,10	32,84
IF0,7-41-6	9,158	49,00	33,94	IF1,4-41-6	21,777	49,80	36,50

A Figura 3.17 mostra a fotografia das amostras IF0,7-41-5 e IF1,4-41-5 ensaiadas durante 40 horas, em 5 ciclos de 8 horas cada.

Amostra IF0,7-41-5 Amostra IF1,4-41-5

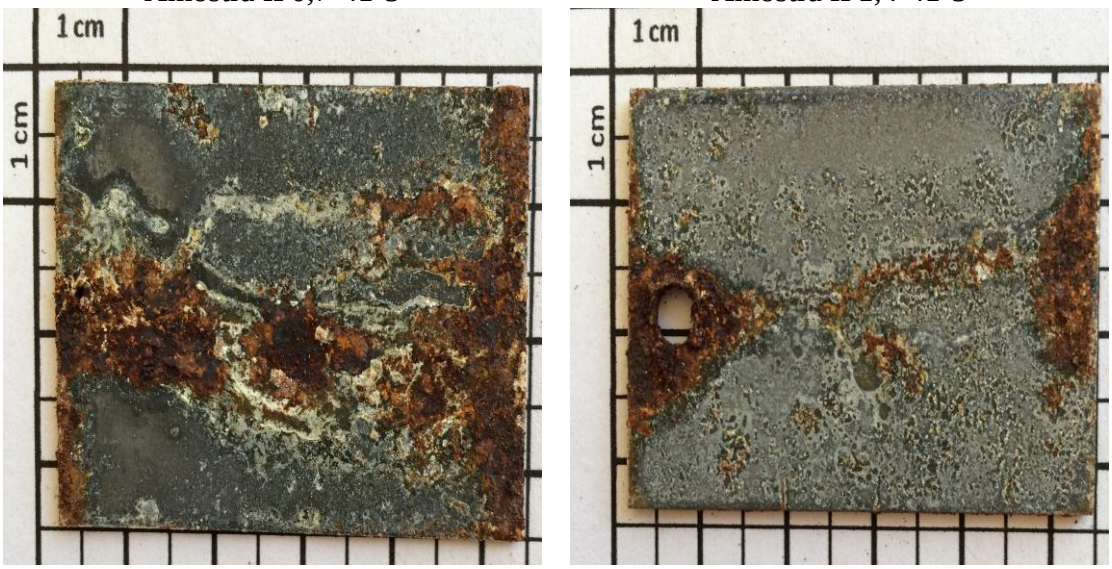


Figura 3.17 – Amostras: IF0,7-41-5 e IF1,4-41-5, após 40 horas de ensaio, a 41,5°C e secagem ao ar.

O sexto e último ciclo de testes, realizado nas amostras IF0,1-41-6 e IF1,4-41-6, encerraram a etapa de ensaios de névoa salina. As amostras foram pesadas, medidas e fotografadas. A Tabela 3.21 e a Figura 3.18 mostram o resultado dimensional e o aspecto superficial resultantes da exposição ao ambiente salino durante um total de 48 horas, sendo o tempo total de secagem, entre ensaios, de 96 horas.

Tabela 3.21 - Peso(P), comprimento (C) e largura (L) das amostras de aço IF após o sexto ciclo de 8 horas e 16 horas de secagem, completando as 48 horas de ensaio sob névoa salina, 41,5°C

AMOSTRAS	IF 0,7 mm			AMOSTRAS	IF 1,4 mm		
	P. (g)	C. (mm)	L. (mm)		P. (g)	C. (mm)	L. (mm)
IF0,7-41-6	9,161	49,00	33,92	IF1,4-41-6	21,792	49,80	36,40

O aspecto superficial das amostras de número IF0,7-41-6 e IF1,4-41-6 pode ser visto na Figura 3.1.18.

Amostra IF0,7-41-6 Amostra IF1,4-41-6

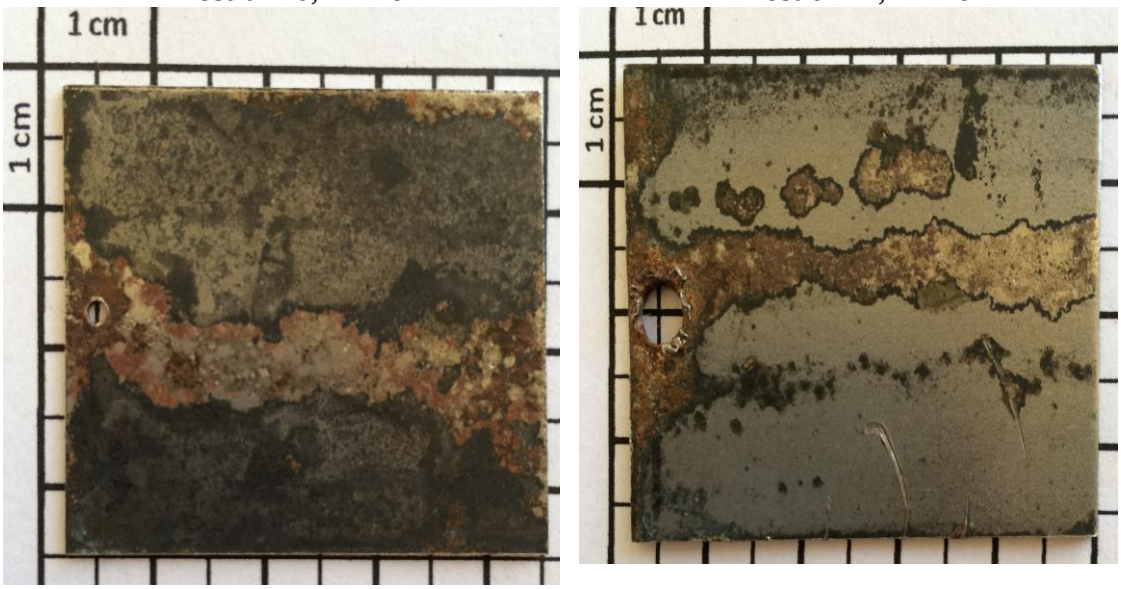


Figura 3.18 – Amostras de aço: IF0,7-41-6 e IF1,4-41-6, após 48 horas de ensaio, a 41,5°C e secagem ao ar.

3.2– Resultados de microscopia ótica.

Após o término do ensaio de névoa salina, foi possível observar um crescimento gradativo da corrosão nas chapas de aço, conforme esperado. O uso do microscópio ótico permitiu o aumento das amostras, possibilitando uma melhor observação da área atingida pela corrosão facilitando a contagem dos pontos de corrosão. Para a realização desta contagem, foram considerados 96 pontos distribuídos em duas imagens feitas em locais distintos da amostra (48 pontos na primeira imagem e 48 pontos na segunda imagem). Tais contagens foram feitas para todas as amostras, nas três temperaturas trabalhadas. Os pontos estavam sempre a uma mesma distância entre si (100x100) possibilitando assim uma distribuição e análise homogêneas em todas as figuras.

Como resultados durante os ensaios de névoa salina, três cores se mantiveram predominantes, conforme já mencionado por outro autor [42]

- Branco/cinza: referente aos pontos de zinco ou formação do sal ainda disposto na amostra. Esses pontos serão definidos como corrosão branca.

- Preta: referente aos pontos de Fe_3O_4 que sobressaíram depois do ensaio. Esses pontos serão definidos como corrosão preta.

- Alaranjado/Vermelho: referente aos pontos de corrosão e óxidos inicialmente em formação de Fe_2O_3. Esses pontos serão definidos como corrosão vermelha

Na figura 3.19 abaixo podemos observar a contagem dos pontos de corrosão vermelha, preta e branca da amostra IF0,7-35-6. A baixa qualidade da figura 3.19, bem como das seguintes, 3.20 e 3.21, se deve a dificuldade de focalização da amostra em função da irregularidade superficial provocada pela corrosão. Na figura 3.19 observam-se duas setas vermelhas para identificar como a contagem dos pontos foram feitas. Ao indicarmos a intercessão entre as retas, para assim determinarmos o ponto de corrosão, o software automaticamente coloca as coordenados do ponto. Essas marcações servem como apoio para a contagem dos pontos de corrosão.

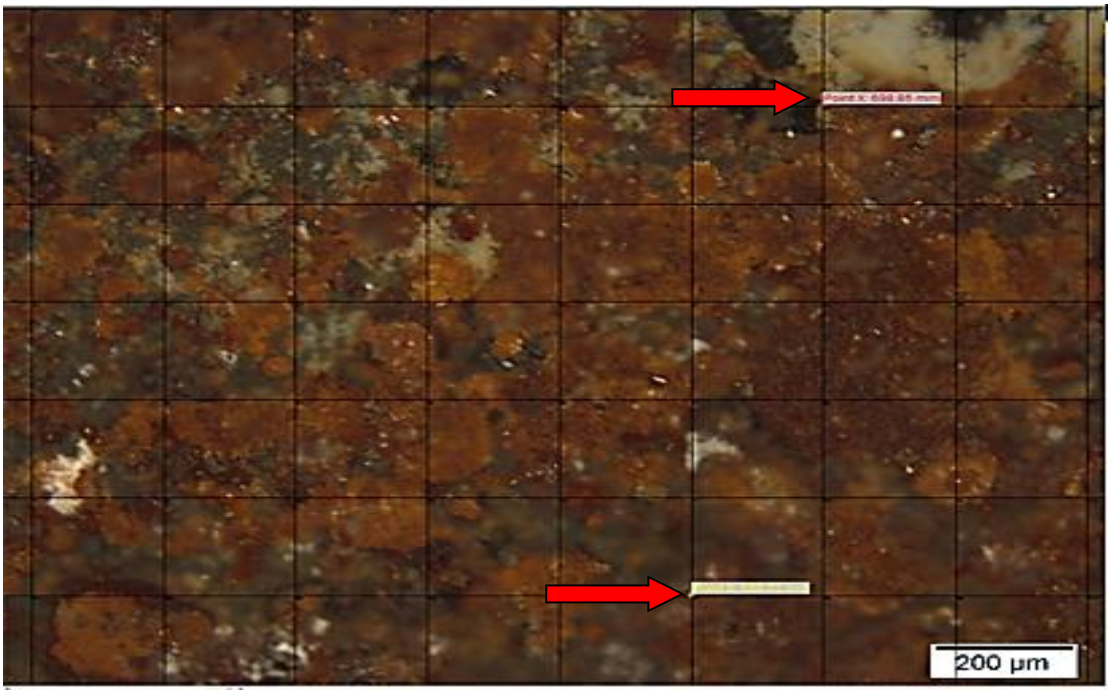


Figura 3.19– Pontos de corrosão branca da amostra IF0,7-35-6. Aumento de 100x

Na figura 3.20 são observados os onze pontos corrosão preta.

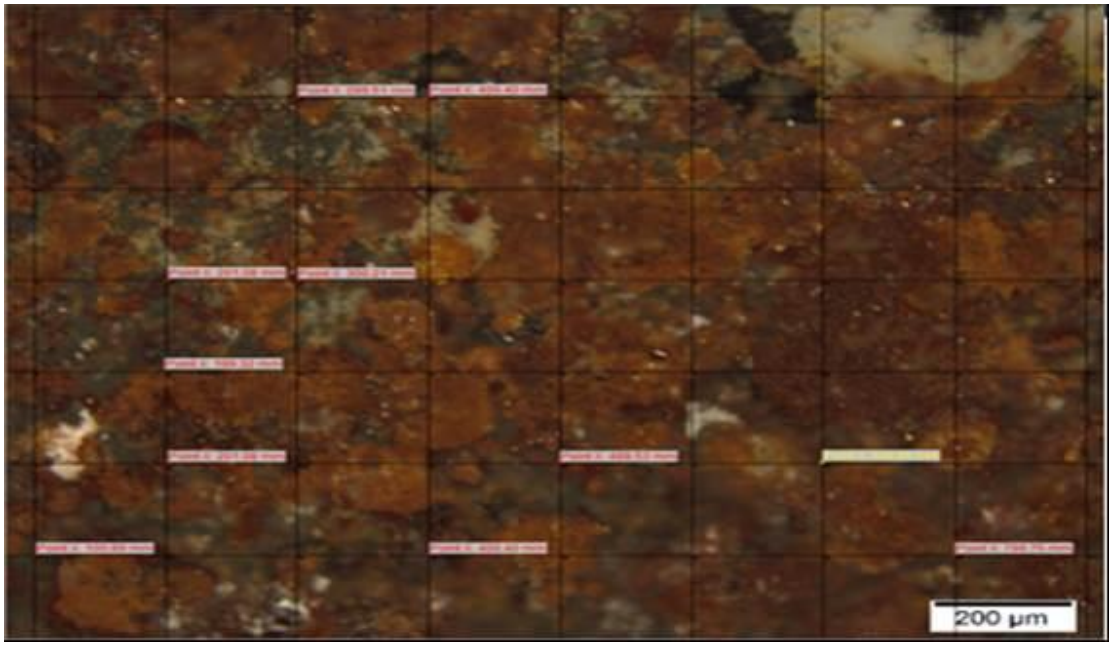


Figura 3.20 – Pontos de corrosão preta da amostra IF0,7-35-6. Aumento de 100x

Na figura 3.21 podem ser observados os trinta e cinco pontos, de corrosão vermelha.

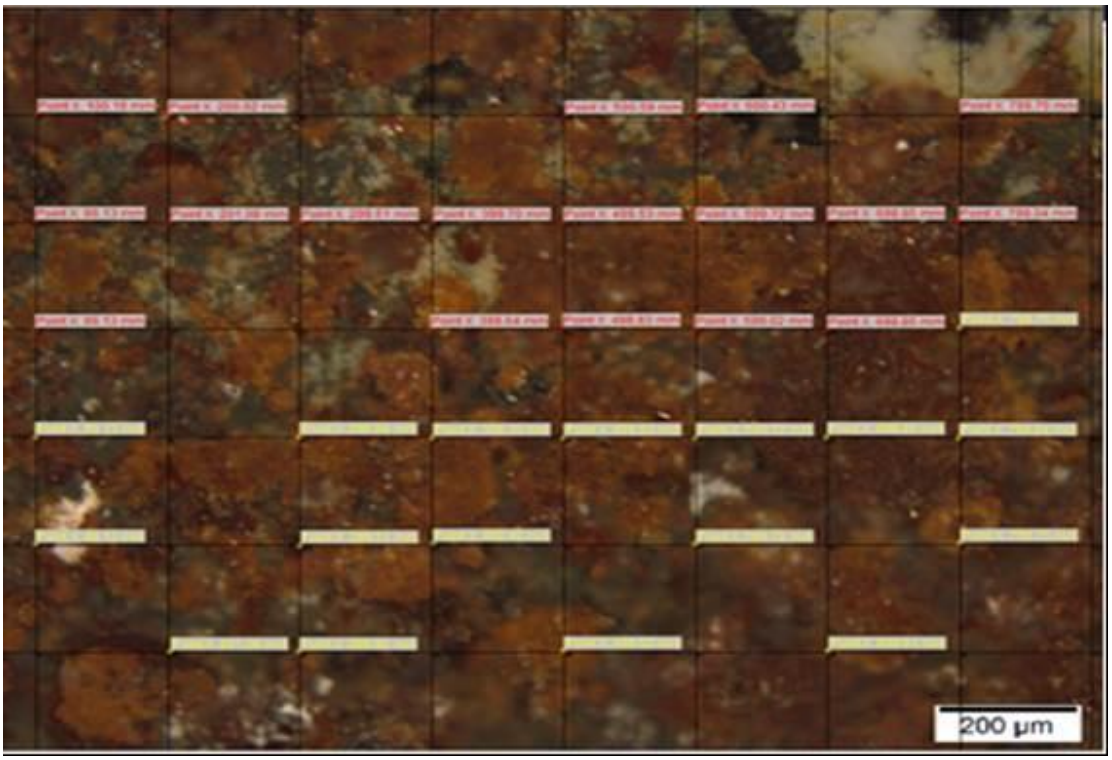


Figura 3.21 – Pontos de corrosão vermelhada amostra IF0,7-35-6. Aumento de 100x

Os resultados obtidos com a contagem dos pontos de corrosão podem ser observados nas tabelas 3.22, 3.23 e 3.24. O campo Imagem 1 refere-se a uma das micrografias retiradas em uma das áreas da amostra e a Imagem 2 refere-se a outra micrografia, retirada da segunda área da mesma amostra. O total de pontos será o somatório dos respectivos pontos de corrosão preta, vermelha e branca das duas imagens. A partir deste total, foi calculado o percentual total de área corroída do aço na respectiva temperatura e tempo.

Tabela 3.22 - Percentual de área corroída dos aços 0,7 e 1,4mm na temperatura de 25°C, considerando os três tipos de corrosão: V (vermelha), B (branca) e P (preta).

Temp. (°C)	Aço (mm)	Amostra	Imagem 1			Imagem 2			Total de pontos			% de área corroída		
			V	B	P	V	B	P	V	B	P	V	B	P
25	0,7	1	14	24	10	13	17	18	27	41	28	28,13	42,70	29,17
		2	10	21	17	14	23	11	24	44	28	25,00	45,83	29,17
		3	30	13	5	10	28	10	40	41	15	41,66	42,70	15,64
		4	19	20	9	22	14	12	41	34	21	42,70	35,41	21,89
		5	20	19	9	16	25	7	36	44	16	37,51	45,83	16,66
		6	14	31	3	16	38	4	30	59	7	31,25	61,45	7,29
	1,4	1	19	20	9	2	40	6	21	60	15	21,87	62,50	15,63
		2	16	14	18	17	24	7	33	38	25	34,38	39,58	26,04
		3	13	27	8	8	22	18	21	49	26	21,88	51,04	27,08
		4	11	20	17	9	13	26	20	33	43	20,83	34,38	44,79
		5	12	27	9	7	22	19	19	49	28	19,79	51,04	29,17
		6	11	13	24	7	26	15	18	39	39	18,74	40,63	40,63

As Figuras 3.22 e 3.23 ilustram, na forma de gráficos, os resultados mostrados na Tabela 3.22 apresentando a relação entre o percentual de formação de pontos de corrosão vermelha (V), preta (P) e branca (B) e o tempo de ensaio para as amostras de 0,7 e 1,4mm de espessura, testadas a 25°C.

Através do gráfico, fica visível o crescimento de pontos de corrosão branca nas duas amostras, o que pode indicar que as amostras ainda poderão continuar seu processo de corrosão, uma vez que os produtos da corrosão presentes, ainda são sais e óxidos.

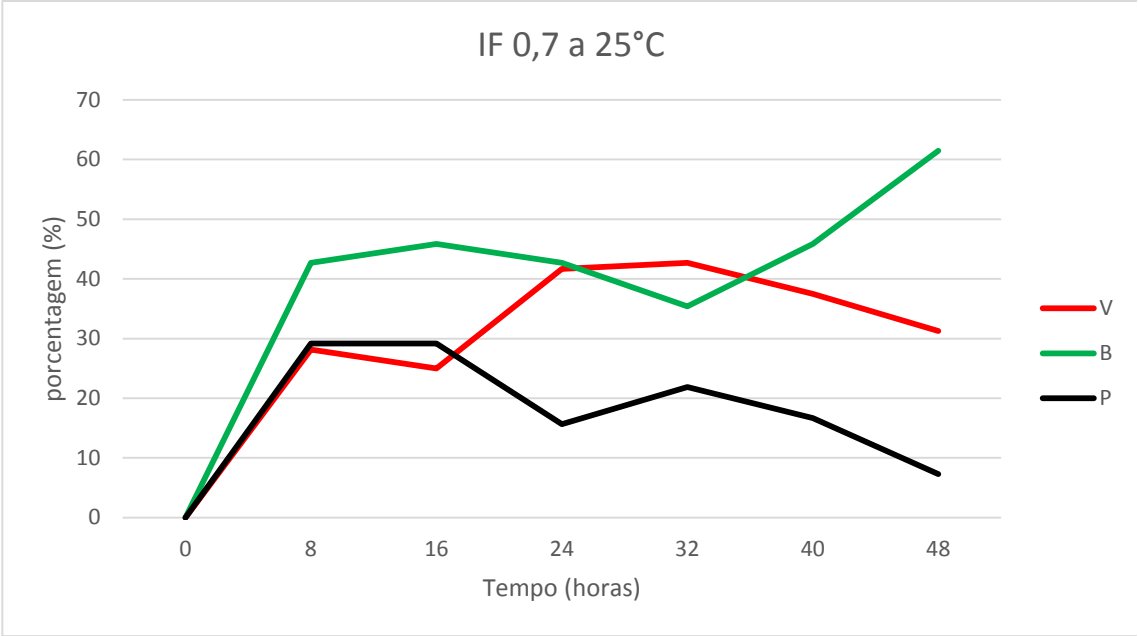


Figura 3.22 – Relação entre o percentual de formação de pontos de corrosão vermelha (V), preta (P) e branca (B) e o número de horas de ensaio, para o aço IF0,7mm a 25°C.

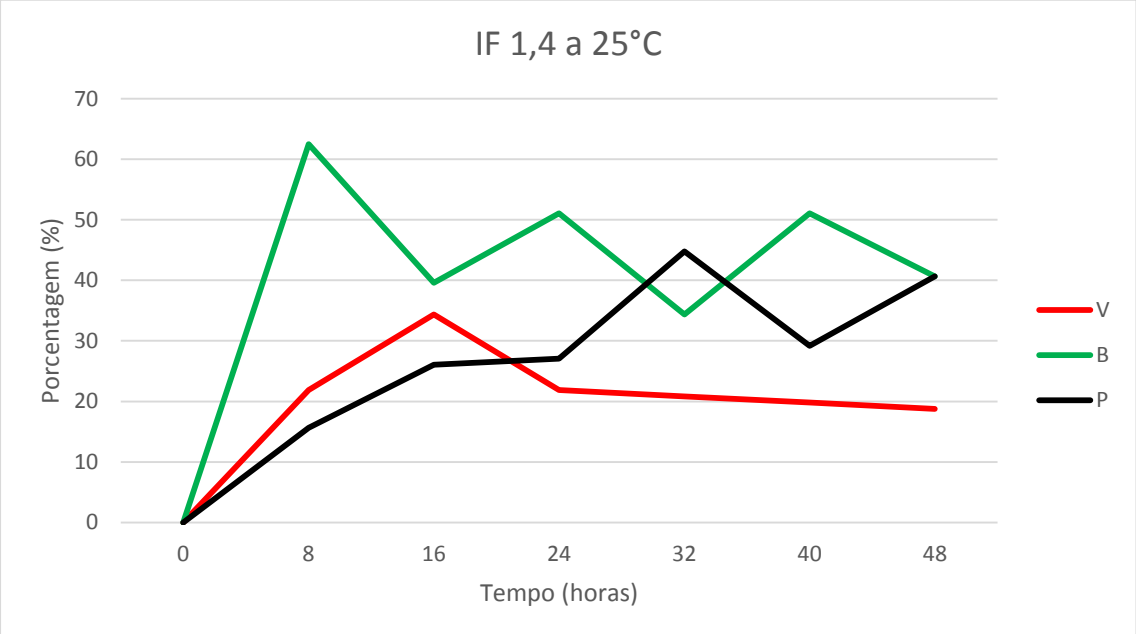


Figura 3.23 – Relação entre o percentual de formação de pontos de corrosão vermelha (V), preta (P) e branca (B) e o número de horas de ensaio para o aço IF 1,4 mm a 25°C

Tabela 3.23 - Tabela de percentual de área corroída dos aços 0,7 e 1,4mm na temperatura de 35°

Temp.	Aço	Amostra	Imagem 1			Imagem 2			Total de pontos			% de pontos de corrosão		
			V	B	P	V	B	P	V	B	P	V	B	P
35	0,7	1	6	30	12	3	29	16	9	59	28	9,38	62,45	29,17
		2	14	26	8	15	24	9	29	50	17	30,20	52,09	17,71
		3	22	13	13	11	32	5	33	45	18	34,38	46,88	18,74
		4	24	14	10	13	28	7	37	42	17	38,54	43,75	17,71
		5	19	17	12	31	11	6	50	28	18	52,09	29,17	18,74
		6	35	2	11	25	10	13	60	12	24	62,50	12,50	25,00
	1,4	1	7	30	11	27	14	7	34	44	18	35,41	45,83	18,74
		2	9	20	19	27	13	8	36	33	27	37,51	34,38	28,12
		3	5	32	11	26	16	6	31	48	17	32,29	50,00	17,71
		4	15	18	15	33	8	7	48	26	22	50,00	27,08	22,91
		5	10	23	15	10	23	15	20	46	30	20,83	47,91	31,26
		6	17	14	17	9	20	19	26	34	36	27,08	35,41	37,51

Os dados informados na Tabela 3.23, estão plotados nos gráficos das Figuras 3.24 e 3.25. É possível observar, que para a amostra IF 0,7, os pontos de corrosão vermelha, corrosão do ferro, estão aumentando sobremaneira com o tempo, atingindo mais de 50% da área após 40 horas de ensaio. Já para o amostra de IF 1,4mm na mesma temperatura, esse crescimento é alto e também observado visualmente, só que de maneira muito desorganizada e de forma inferior ao da amostra de 0,7mm. Isso devido a espessura da chapa e possíveis pontos de fadigas nas amostras.

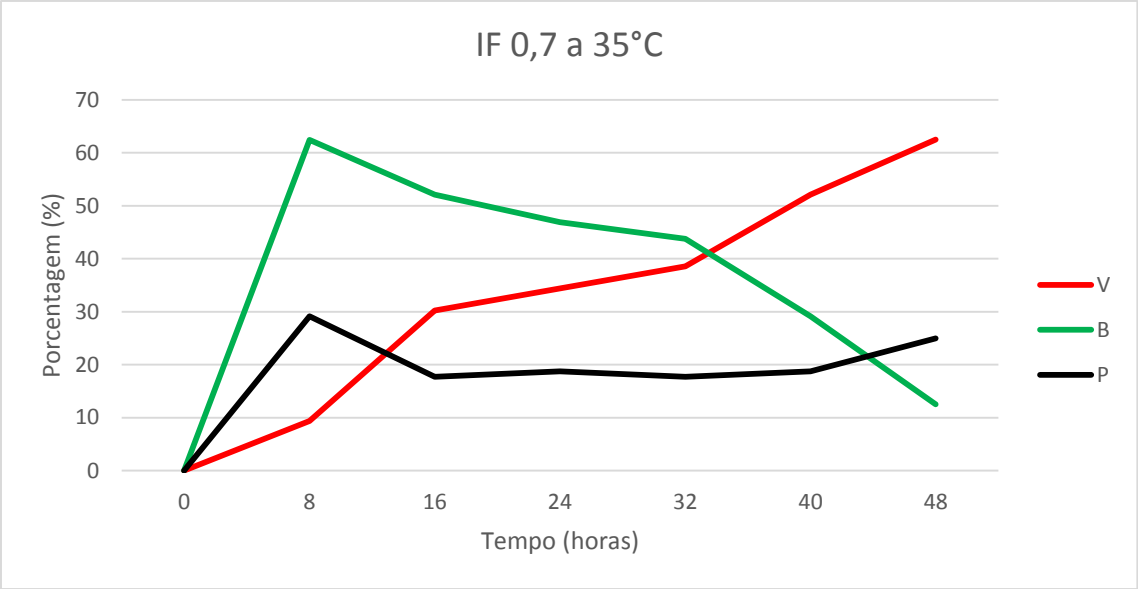


Figura 3.24 – Relação entre o percentual de formação de pontos de corrosão vermelha(V), preta (P) e branca (B) e o número de horas de ensaio para o aço IF 0,7 mm a 35°C.

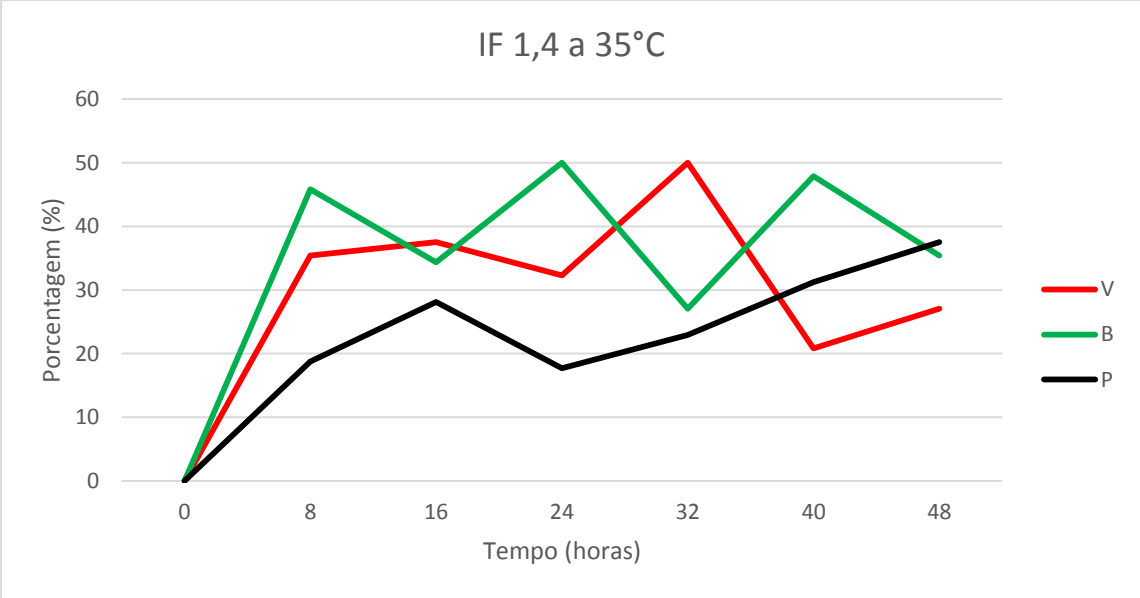


Figura 3.25 – Relação entre o percentual de formação de pontos de corrosão vermelha(V), preta (P) e branca (B) e o número de horas de ensaio, para o aço IF 1,4 mm a 35°C.

Tabela 3.24 - Tabela de percentual de área corroída dos aços 0,7 e 1,4mm na temperatura de 41,5°C

Temp. (°C)	Aço (mm)	Amostra	Imagem 1			Imagem 2			Total de pontos			% de pontos de corrosão		
			V	B	P	V	B	P	V	B	P	V	B	P
41,5	0,7	1	21	17	10	14	19	15	35	36	25	36,45	37,51	26,04
		2	25	9	14	17	13	18	42	22	32	43,75	22,91	33,34
		3	20	19	9	22	18	8	42	37	17	43,75	38,54	17,71
		4	24	13	11	21	14	13	45	27	24	46,88	28,12	25,00
		5	30	7	11	37	4	7	67	11	18	69,81	11,45	18,74
		6	30	11	7	32	9	7	62	20	14	64,58	20,83	14,59
	1,4	1	6	23	19	9	18	21	15	41	40	15,64	42,70	41,66
		2	7	18	23	6	26	16	13	44	39	13,54	45,83	40,63
		3	10	9	29	20	12	16	30	21	45	31,24	21,88	46,88
		4	15	21	12	25	9	14	40	30	26	41,67	31,24	27,09
		5	33	8	7	29	3	16	62	11	23	64,58	11,45	23,97
		6	32	8	8	23	13	12	55	21	20	57,29	21,88	20,83

Os gráficos plotados a partir Tabela 3.24 (Figuras 3.26 e 3.27) mostram que aumento de 6°C na temperatura de ensaio, promoveu um aumento significativo na taxa de formação de corrosão vermelha, atingindo quase praticamente 50% da chapa de 0,7mm após 32 horas de ensaio.

Para a amostra de 1,4 mm, de acordo com o gráfico, o mesmo tipo de corrosão, teve um aumento gradativo com o tempo de ensaio, atingindo o valor máximo de proximamente 65% após 40 horas, passando a diminuir para 57% após 48 horas de ensaio.

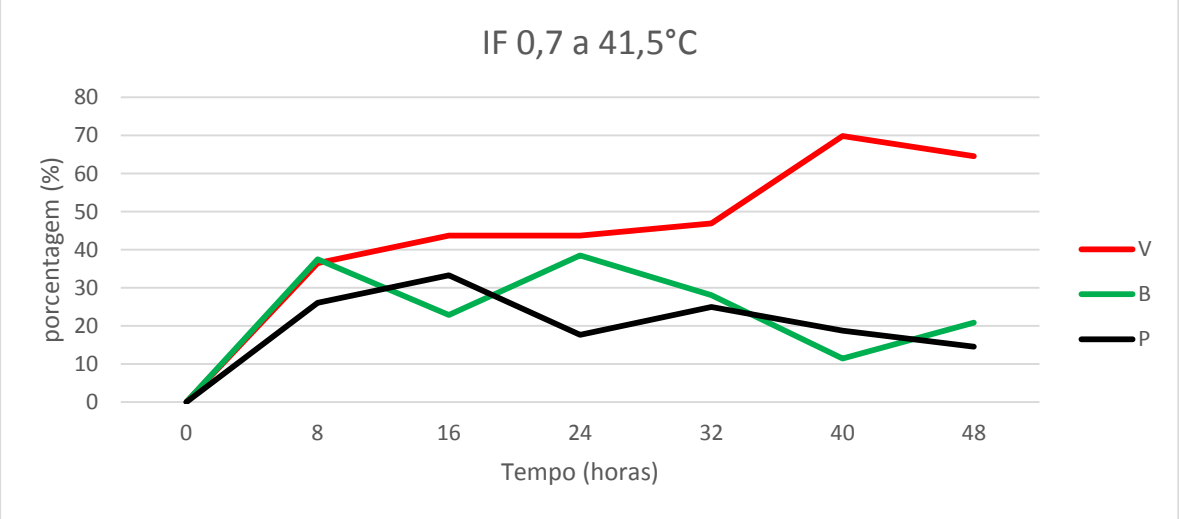


Figura 3.26 – Relação entre o percentual de formação de pontos de corrosão vermelha(V), preta (P) e branca (B) e o número de horas de ensaio, para o aço IF 0,7 mm a 41,5°C.

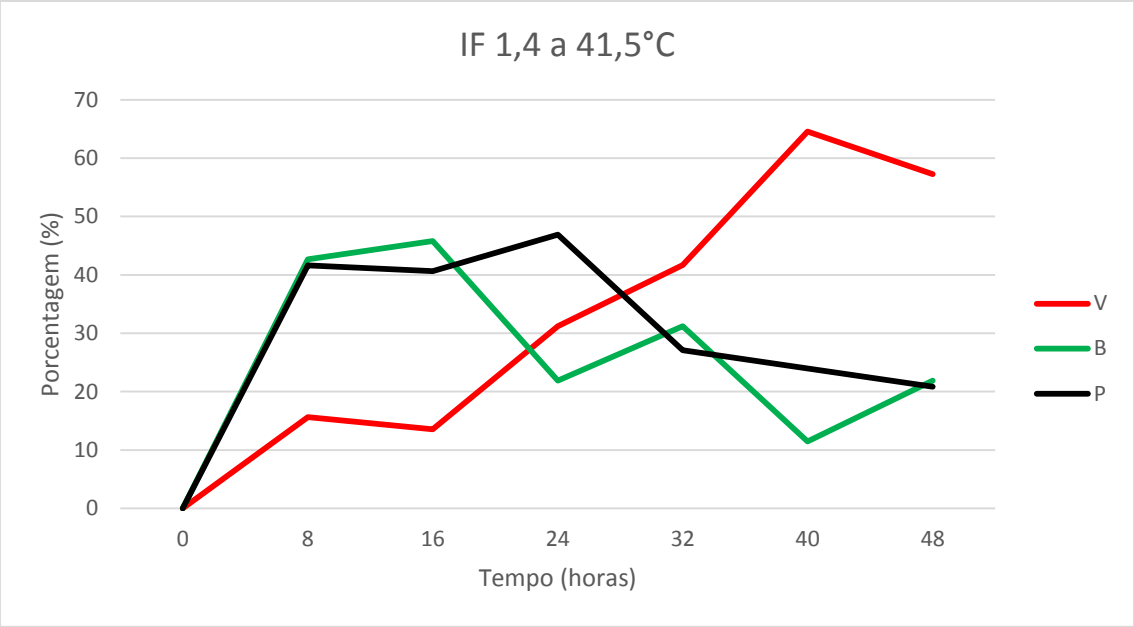


Figura 3.27 – Relação entre o percentual de formação de pontos de corrosão vermelha(V), preta (P) e branca (B) e o número de horas de ensaio, para o aço IF 1,4 mm a 41,5°C

Para uma melhor análise 6 novos gráficos foram gerados. Cada gráfico relaciona um tipo de corrosão (vermelha, preta ou branca) em uma dada espessura de amostra ensaiada (0,7 e 1,4mm) nas três temperaturas de teste (25, 35 e 41°C).

O gráfico da Figura 3.28 apresenta os pontos de corrosão vermelha do aço IF 0,7 nas três temperaturas trabalhadas.

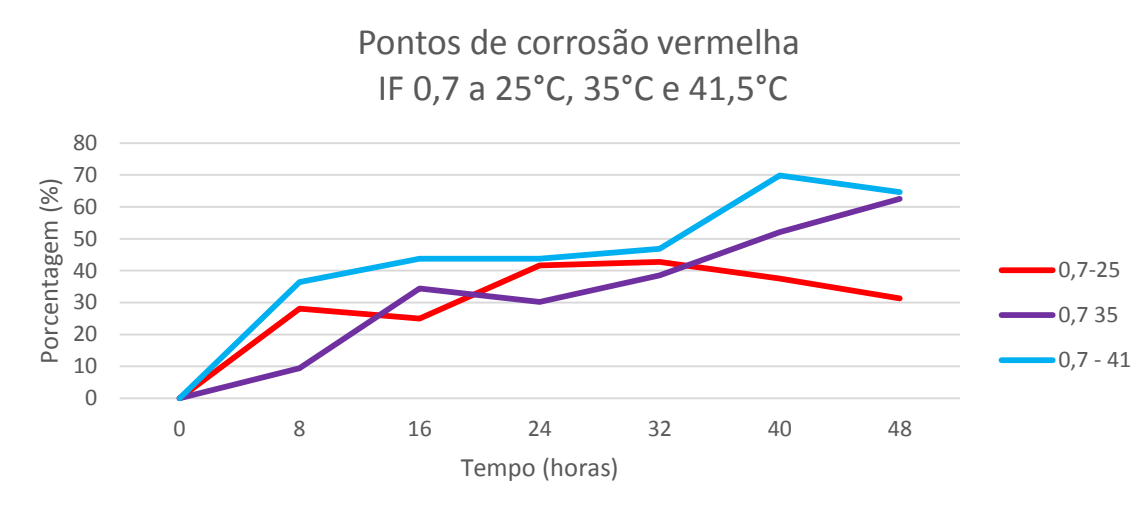


Figura 3.28 – Relação entre o percentual de formação de pontos de corrosão vermelha(V) e o número de horas de ensaio das amostras de 0,7 mm ensaiadas nas temperaturas de 25°C, 35°C e 41,5°C.

O gráfico da Figura 3.29 apresenta os pontos de corrosão branca do aço IF 0,7 nas três temperaturas trabalhadas.

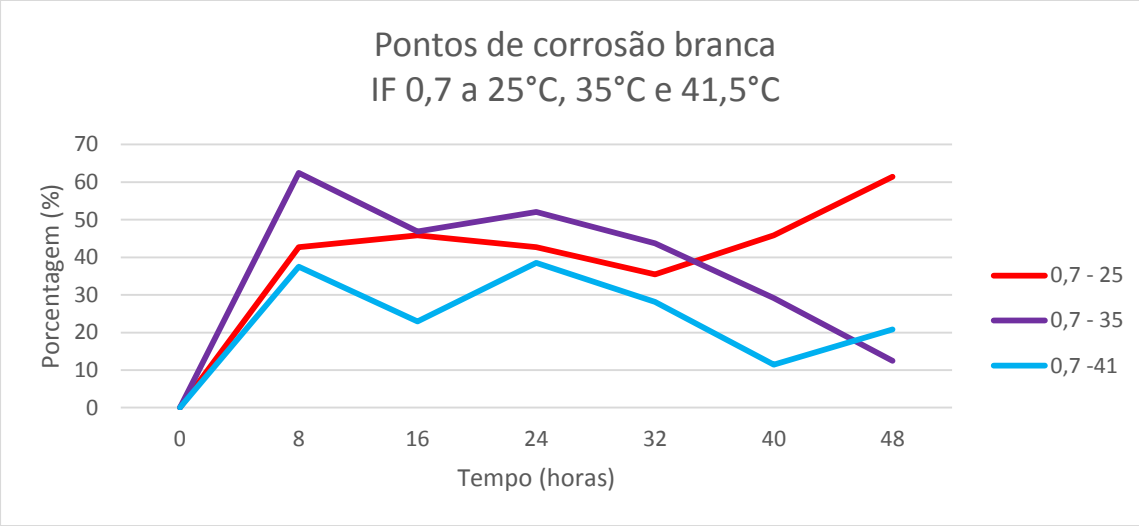


Figura 3.29 – Relação entre o percentual de formação de pontos de corrosão branca (B) e o número de horas de ensaio das amostras de 0,7 mm ensaiadas nas temperaturas de 25°C, 35°C e 41,5°C.

O gráfico da Figura 3.30 apresenta os pontos de corrosão preta do aço IF 0,7 nas três temperaturas trabalhadas.

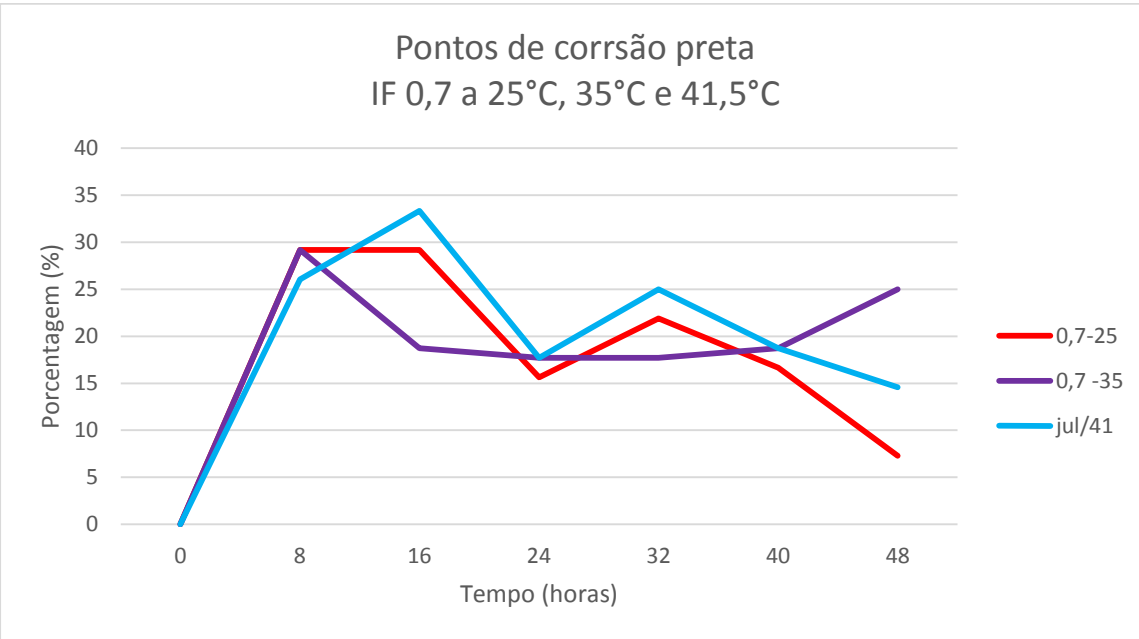


Figura 3.30 – Relação entre o percentual de formação de pontos de corrosão preta (P) e o número de horas de ensaio das amostras de 0,7 mm ensaiadas nas temperaturas de 25°C, 35°C e 41,5°C.

O gráfico da Figura 3.31 apresenta os pontos de corrosão vermelha do aço IF 1,4 mm nas três temperaturas trabalhadas.

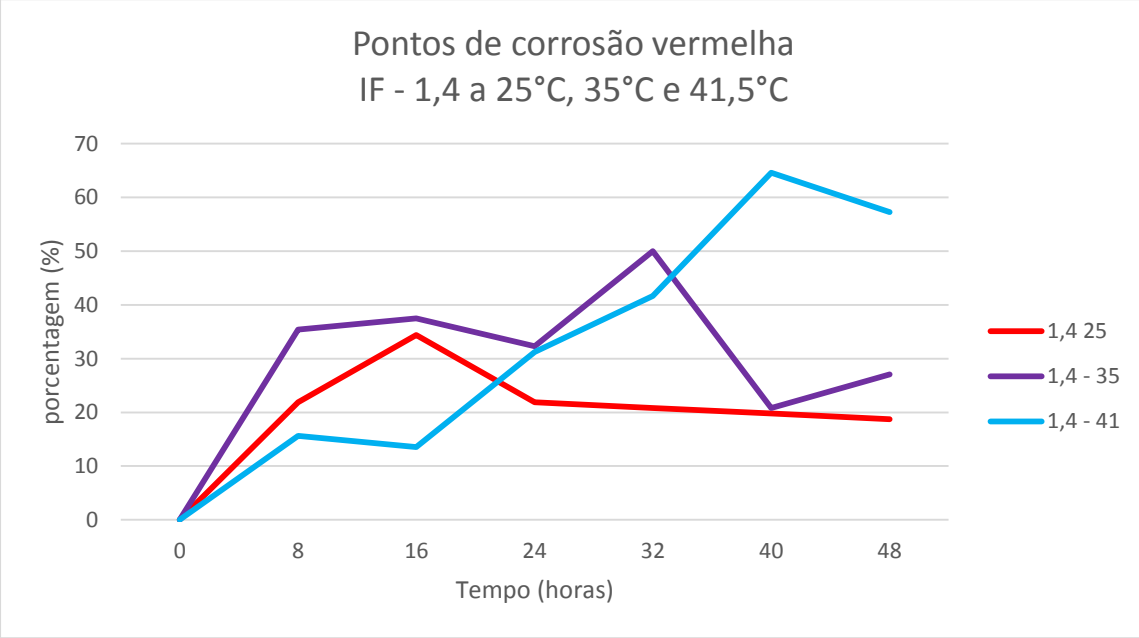


Figura 3.31 – Relação entre o percentual de formação de pontos de corrosão vermelha(V) e o número de horas de ensaio das amostras de 1,4 mm ensaiadas nas temperaturas de 25°C, 35°C e 41,5°C.

O gráfico da Figura 3.32 apresenta os pontos de corrosão branca do aço IF 1,4 nas três temperaturas trabalhadas.

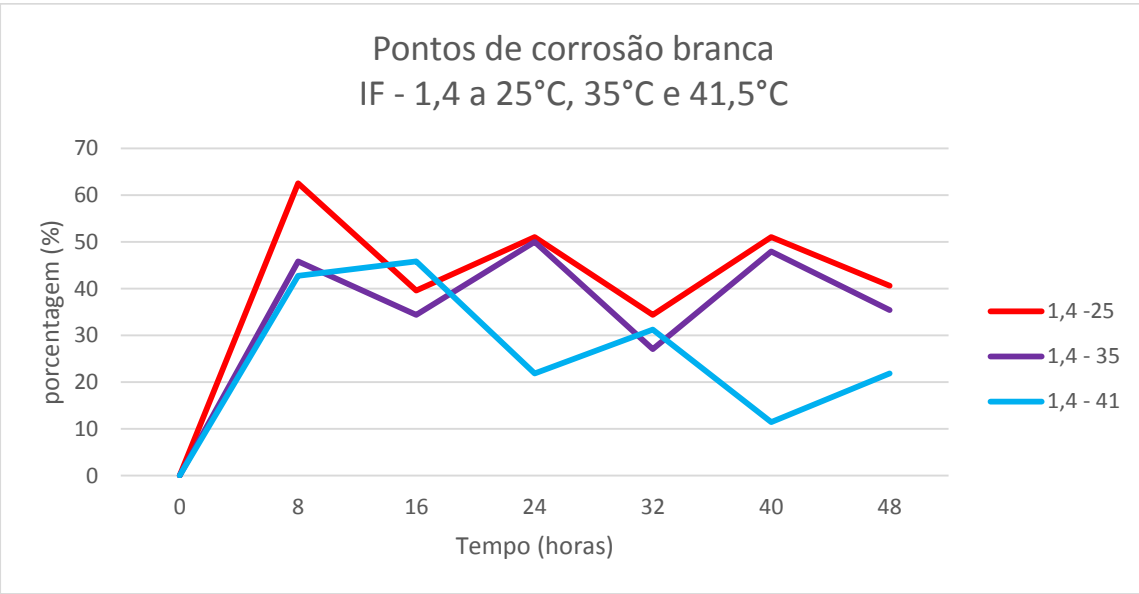


Figura 3.32 – Relação entre o percentual de formação de pontos de corrosão branca (B) e o número de horas de ensaio das amostras de 1,4 mm ensaiadas nas temperaturas de 25°C, 35°C e 41,5°C.

O gráfico da Figura 3.33 apresenta os pontos de corrosão preta do aço IF 1,4 nas três temperaturas trabalhadas.

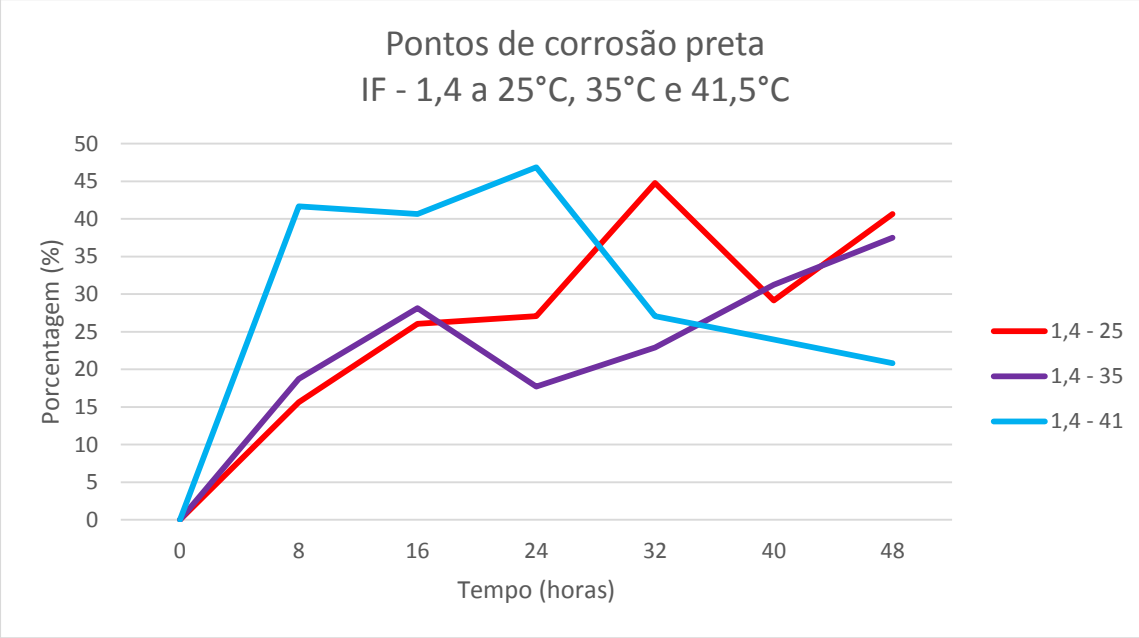


Figura 3.33 – Relação entre o percentual de formação de pontos de corrosão preta (P) e o número de horas de ensaio das amostras de 1,4 mm ensaiadas nas temperaturas de 25°C, 35°C e 41,5°C.

3.3 – Resultados de difração de raios-x.

As medições feitas com o equipamento de Raios-X tiveram como objetivo determinar, através de fichas de indexação corrigidas, as fases formadas no material.

Inicialmente utilizando uma comparação das análises obtidas por Bragg Brentano, foi colocado em um mesmo espaço 4 amostras. As amostras que serviram como modelo para esse análise foram a amostra “como recebido” e as amostras do aço IF 07 nas temperaturas de 25, 35 e 41,5°C (IF0,7-25-6, IF-07-35-6 e IF0,7-41-6). Podemos observar a seguir, na figura 3.34, os resultados obtidos após medição utilizando difração de Raios-X

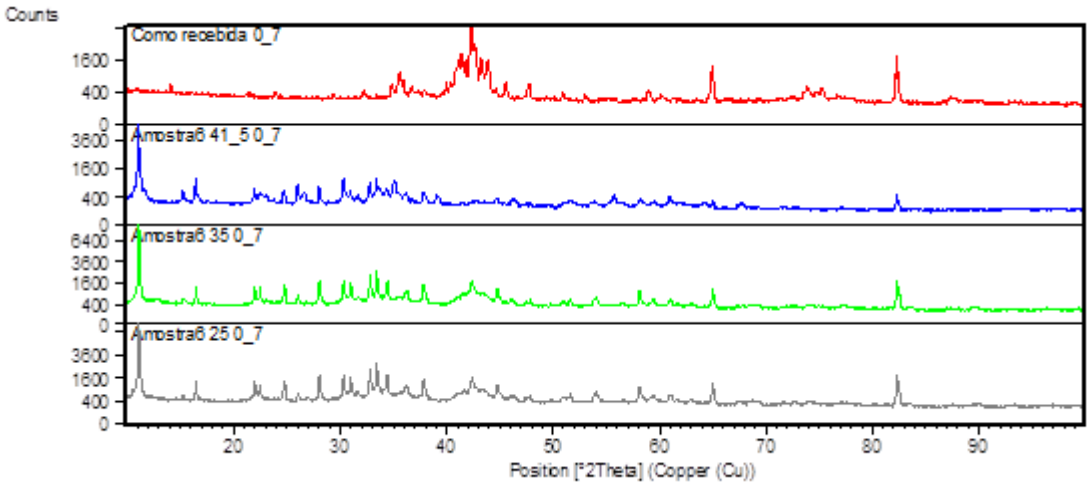


Figura 3.34 - Difratograma 1 – Comparativo entre a amostra como recebida e as amostras IF0,7-25-6, IF07-35-6 e IF-0,7-41-6.

Ao analisar as amostras de maneira individual conseguimos indicar, através de fichas cristalográficas, quais componentes estão presentes em cada uma das amostras. Abaixo, nas figuras de 3.35 e 3.36, podemos observar os espectros obtidos pelos ensaios de Raios-X juntamente com os difratogramas já anexados.

Na imagem a seguir observamos a amostra de aço IF 0,7 como recebida.

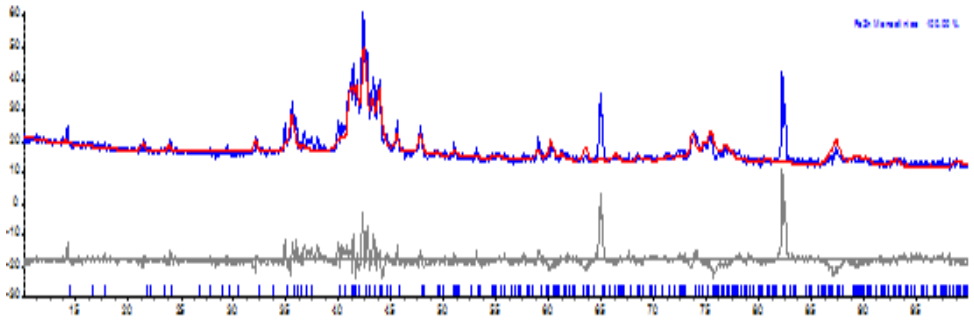


Figura 3.35 - Difratograma 2 – Análise da amostra como recebida

Com a imagem da amostra como recebida, medida pelo difratômetro de Raios-X, analisamos seus picos, através das fichas cristalográficas, os mesmos coincidiram com os picos da ficha 01-077-9204, identificada como Iron-Zinc, de formula mínima $FeZn_{13}$, confirmado a presença de Ferro e Zinco na composição da amostra. A figura 3.24 mostra

o resultado obtido para a amostra como recebida com as aplicações das fichas cristalográficas.

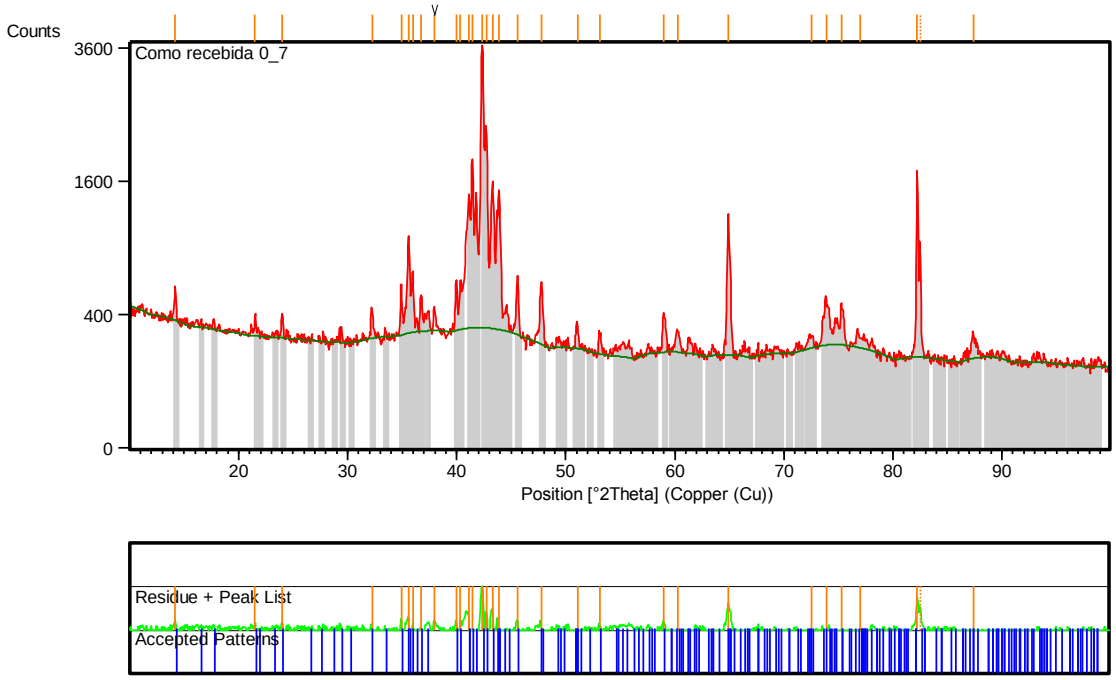


Figura 3.36 - Difratograma 3 – Análise da amostra como recebida com a aplicação das fichas cristalográficas

Na figura 3.37, a seguir, observamos o difratograma, já indexado, da amostra IF0,7-25-6. Para esse difratograma, as fichas aonde foi possível identificar os picos presentes foram as 00-60-0614 e 00-007-0155 que correspondem aos compostos Iron Oxide Hydroxide de fórmula FeO(OH) e ZincCloridHydroxidoHydratate de fórmula $Zn_5(OH)_8Cl_2.H_20$, respectivamente.

Na figura 3.38, abaixo, observamos o difratograma da amostra IF0,7-35-6, já com as fichas de número 01-085-1438, correspondente ao Iron Cloride ($FeCl_2$), e número 00-007-0155, correspondente ao ZincCloridHydroxidoHydratate ($Zn_5(OH)_8Cl_2.H_2O$), devidamente indexadas.

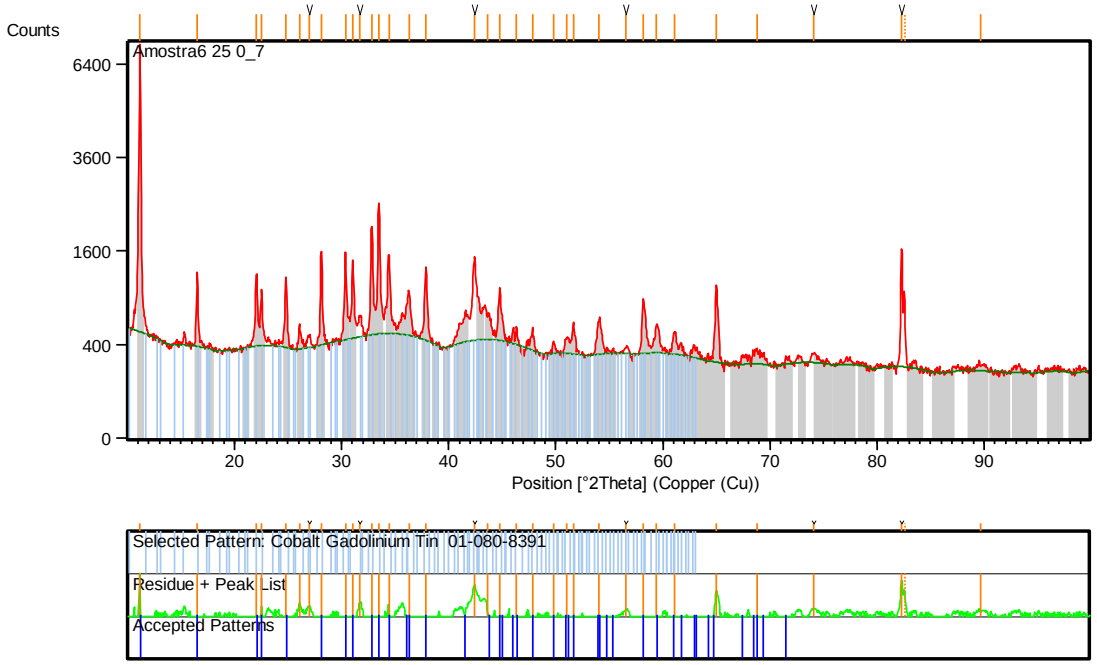


Figura 3.37 - Difratograma 4 – Análise da amostra IF0,7-25-6 ensaiada a 25°C

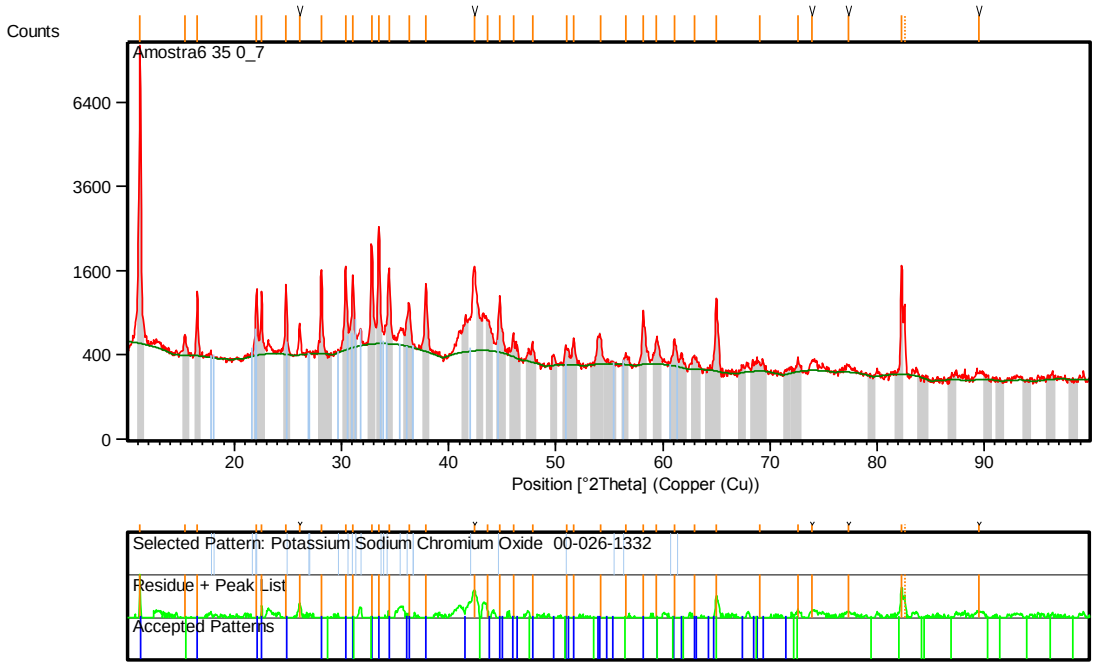


Figura 3.38 - Difratograma 5 – Análise da amostra IF0,7-35-6ensaiada a 35°C.

Na figura 3.39, observamos o difratograma indexados da amostra IF0,7-41-6.com as fichas número é 01-085-1438, correspondente ao Iron Cloride ($FeCl_2$), número 00-007-0155, correspondente ao ZincCloridHydroxidoHydratate ($Zn_5(OH)_8Cl_2.H_20$) e as de

número 00-60-0614 e 00-007-0155 que correspondem aos compostos Iron Oxide Hydroxide de fórmula FeO(OH).

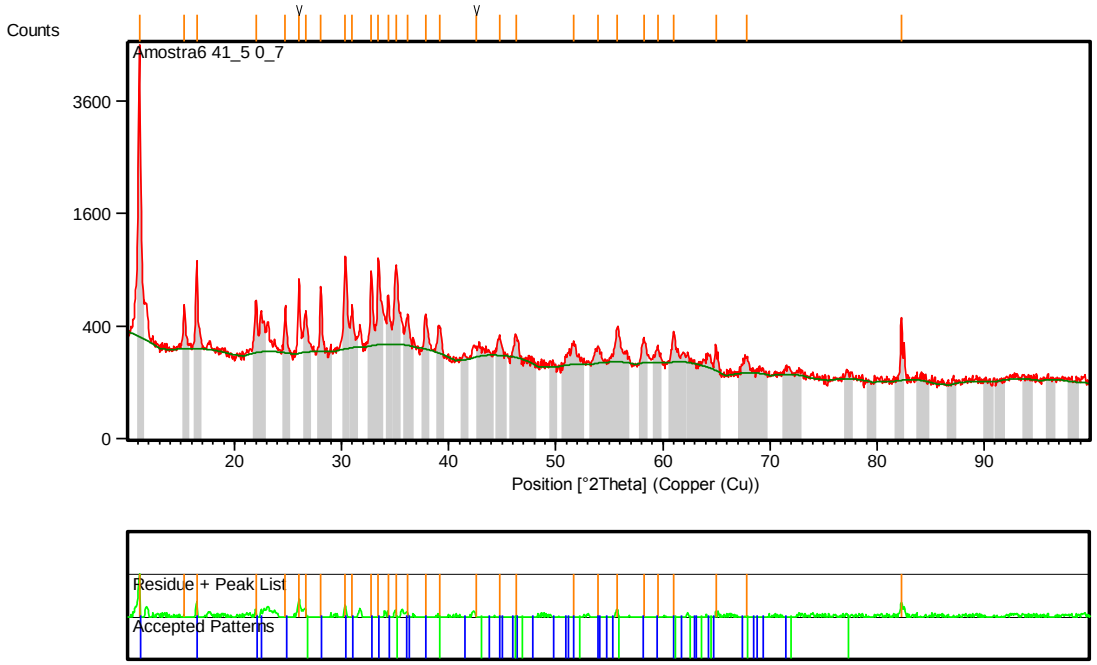


Figura 3.39 - Difratograma 6–Análise da amostra IF0,7-41-6 ensaiada a 41,5°C.

Ao iniciarmos as análises da amostra de 1,4mm, utilizou-se a amostra de espessura 0,7mm, como recebida, para efeito de comparações. Como o material é o mesmo e as composições químicas, disponibilizadas pelo fabricante, também são as mesmas, foi possível utilizar a mesma base de dados.

Seguindo o mesmo procedimento empregado para a amostra de aço 0,7mm, foi feito um comparativo das análises de Raios-X do material como recebido com as amostras de aço IF 1,4mm nas três temperaturas estudadas. Desta forma, foi obtido o seguinte difratograma, Figura 3.40.

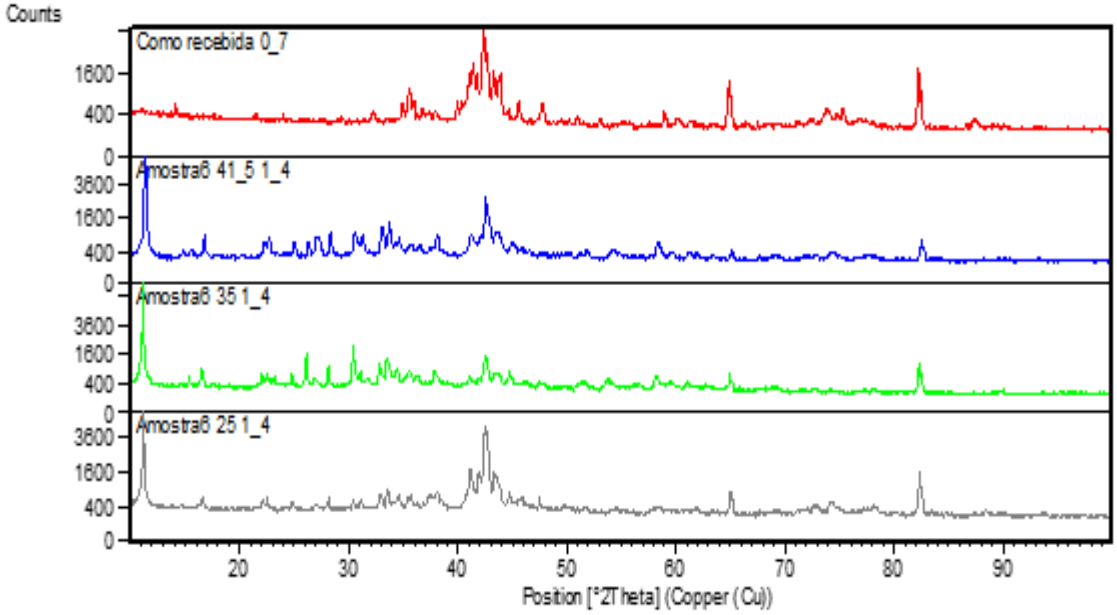


Figura 3.40 - Difratograma 7 – Comparativo entre a amostra como recebida e as amostras IF1,4-25-6; IF1,4-35-6 e IF1,4-41-6 nas três temperaturas trabalhadas.

Como a composição dos aços de espessura 0,7 e 1,4mm é a mesma, e as condições do ensaios também foram as mesmas, a possibilidade de resultados iguais poderia ser grande. Para tal comparativo, as amostras de espessuras distintas ensaiadas na mesma temperatura foram comparadas. Os difratogramas de comparação estão apresentados nas figuras3.41, 3.42 e 3.43.

No oitavo difratograma, Figura 3.41, pode ser observado um comparativo entre as amostras IF 0,7-25-6 e IF1,4-25-6. Com base nesta comparação, é possível perceber a presença do ZincCloridHydroxidoHydratate de fórmula $Zn_5(OH)_8Cl_2.H_20$ e do Iron Oxide Hydroxide de fórmula FeO(OH). Além dessas fichas o pico de maior relevância que não aparece na análise da amostra 0,7 é identificado como $FeZn_{13}$ que é o Iron Zinc.

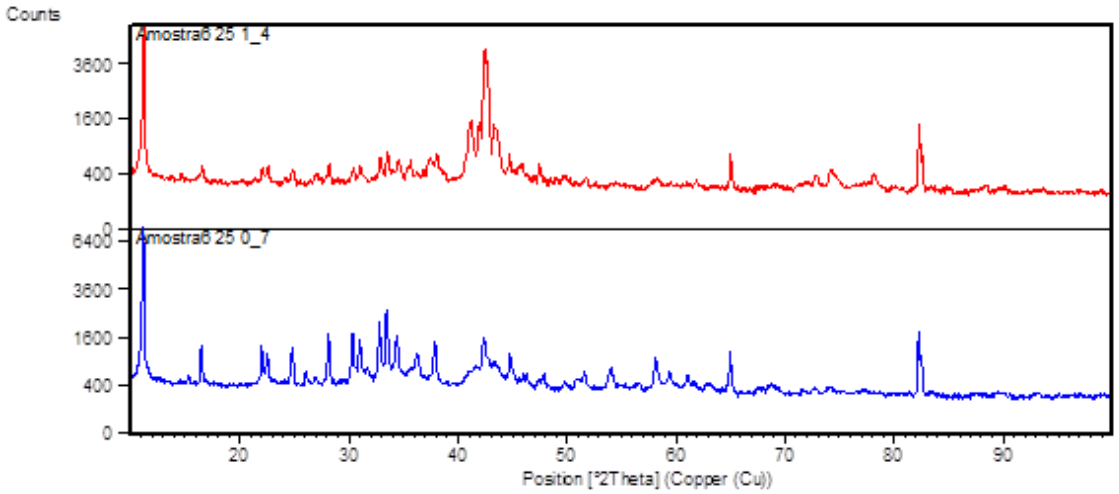


Figura 3.41 - Difratograma 8 – Comparativo entre as amostras IF0,7-25-6 e IF1,4-25-6.

O difratograma da figura 3.42 apresenta a análise feita para as duas amostras de espessuras diferentes, ensaiadas na temperatura de 35°C. É possível observar um resultado bastante similar entre as duas amostras, com a presença de $FeCl_2$ e $Zn_5(OH)_8Cl_2.H_20$, indexados pelas fichas 01-085-1438 e 00-007-0155, respectivamente.

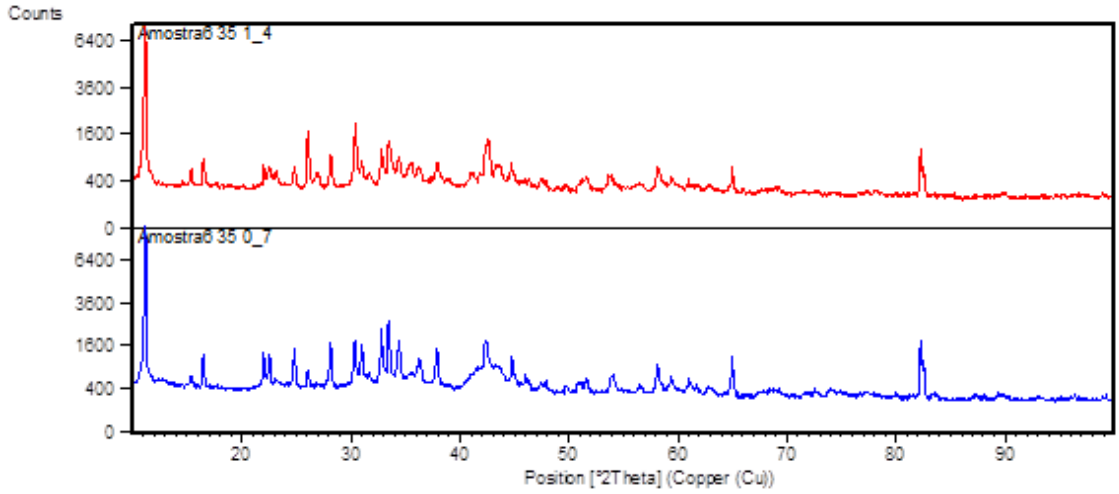


Figura 3.42 - Difratograma 9 – Comparativo entre as amostras IF0,7-35-6 e IF1,4-35-6.

O difratograma, apresentado na figura 3.43, compara as amostras de 0,7 e 1,4 mm de espessura, na temperatura de 41,5°C. As duas amostras apresentam os mesmos componentes químicos, contudo na amostra de 1,4 mm percebe-se a presença do $FeZn_{13}$ que corresponde ao Iron Zinc, ficha número 01-007-9204. A comparação dos

difratogramas torna possível observar esse componente pelo acréscimo de um segundo pico.

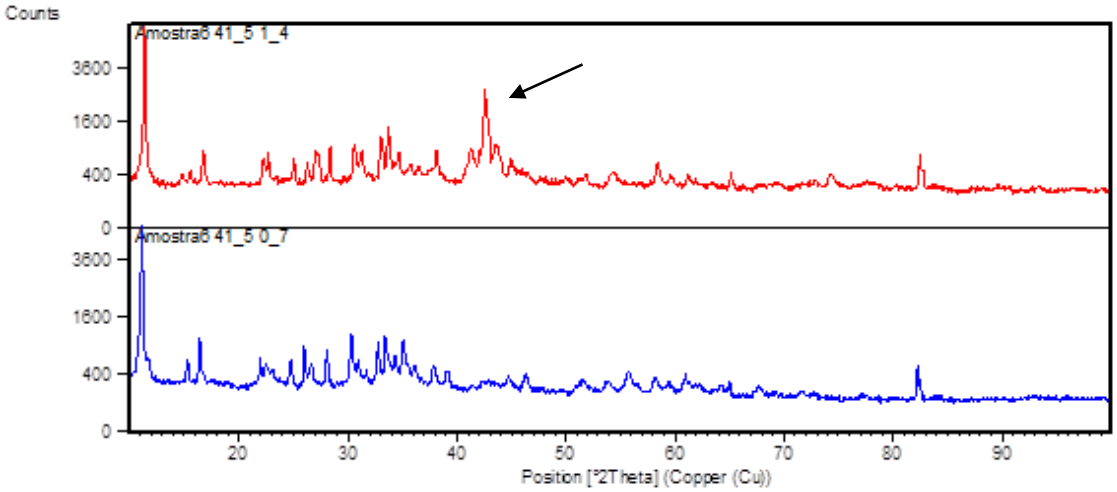


Figura 3.43 - Difratograma 10 – Comparativo entre as amostras 0,7 e 1,4 na temperatura de 41,5°C

Abaixo, na Tabela 3.25, estão relacionados, os componentes químicos encontrados durante as análise de raios – X. Os campos pintados de vermelho nesta tabela servem para identificar a presença do componente na amostra estudada.

Tabela 3.25 Relação dos componentes químicos encontrados em cada uma amostra.

Componentes	Amostras						
	Como recebida	IF0,7-25-06	IF0,7-35-06	IF0,7-41-06	IF1,4-25-06	IF1,4-35-06	IF1,4-41-06
$FeZn_{13}$							
$FeCl_2$							
$Zn_5(OH)_8Cl_2.H_20$							
FeO(OH)							

3.4– Resultados de MEV.

A figura 3.44 apresenta a amostra de aço IF 0,7 como recebida analisada pelo MEV. Observa-se na mesma figura a micrografia retirada de onde as análises foram feitas e os espectros que foram obtidos. Através destes espectros, observamos a presenças de carbono, expresso pela cor vermelha, do ferro pela cor verdes e do zinco pela cor azul.

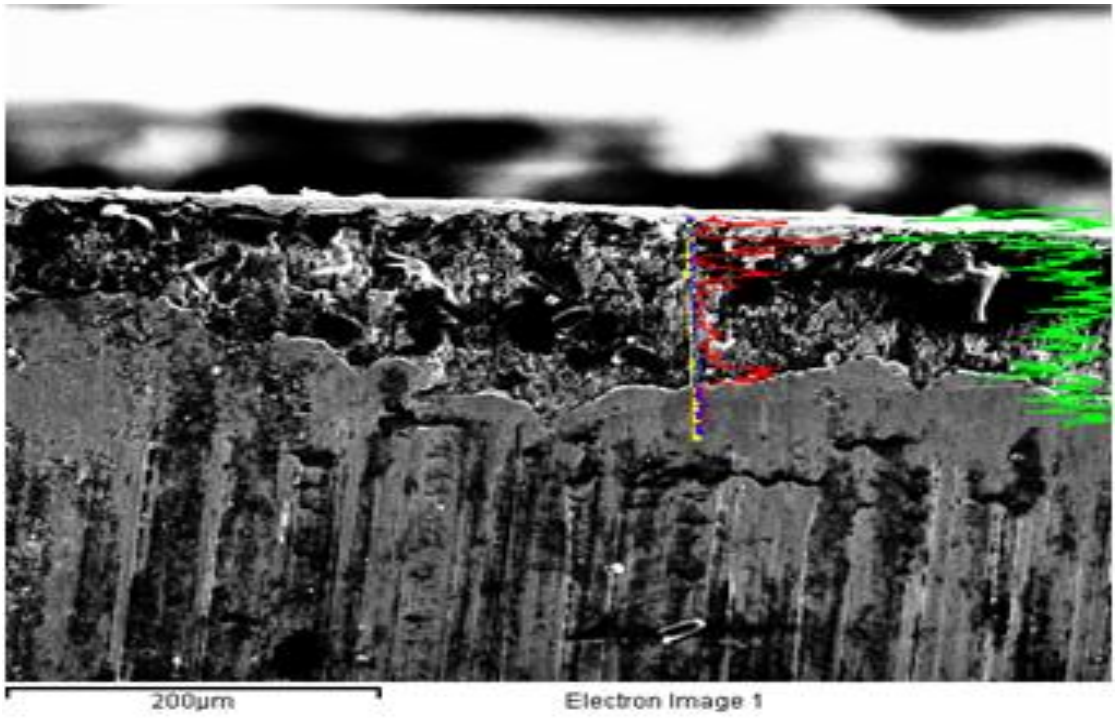


Figura 3.44 – Micrografia e espectros da amostra como recebida do aço 0,7

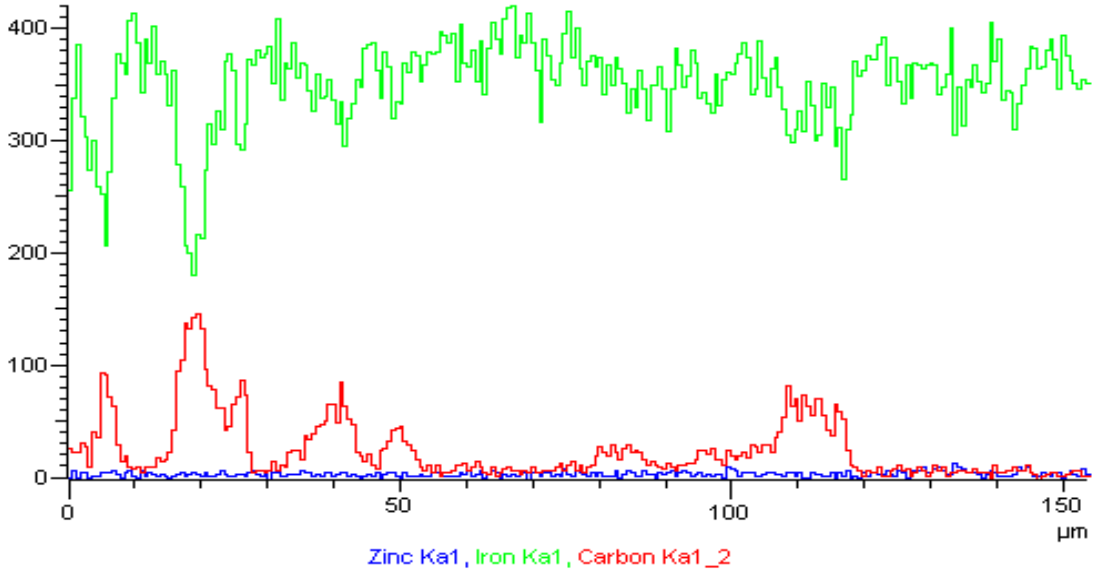


Figura 3.45 –Gráfico mostrando a presença dos elementos identificados na amostra 0,7.

Na figura 3.46 onde se tem os resultados das análises para a condição como recebida da amostra de aço IF 1,4, observa-se também a presença dos compostos ferro, carbono e zinco, pelas cores verde, vermelho e azul e em quantidades, respectivamente,

decrescentes, mostrando assim que temos uma aço baixo carbono galvanizado. Na imagem da micrografia obtida por MEV na figura 3.46 podemos observar que a camada de zinco é o dobro da obtida na amostra 0,7 (figura 3.32). Esse dado pode também ser confirmado pelo gráfico na figura 3.47 onde observamos um aumentos de zinco em alguns pontos e uma diminuição do carbono.

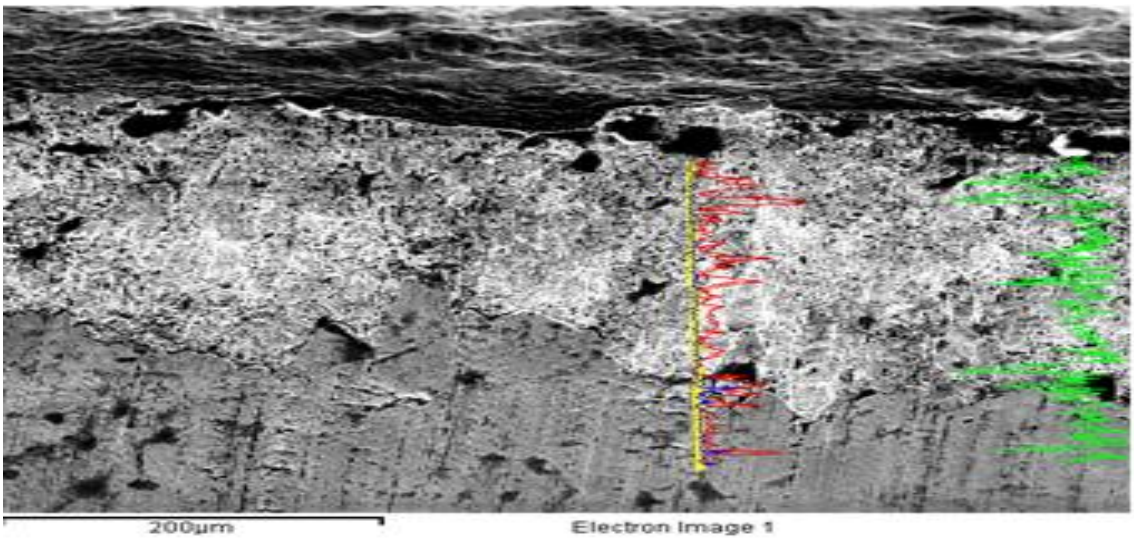


Figura 3.46 – Micrografia e espectros da amostra como recebida do aço 1,4

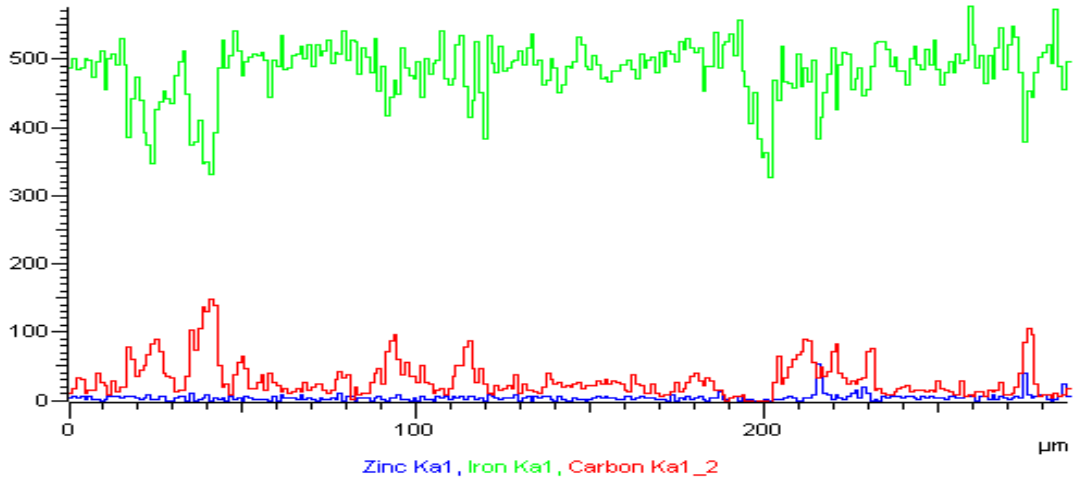


Figura 3.47– Gráfico mostrando a presença dos elementos identificados na amostra como recebida do aço IF 1,4.

Através das análises por MEV nas amostras que sofreram os ensaios de corrosão, observa-se em todas elas a presença de carbono representado pelo espectro vermelho, zinco representado pelo verde, ferro representado pelo amarelo, oxigênio pelos espectros de cor azul clara, cloro pelo de cor azul escura e sódio nos espectros de cor rosa.

Na figura 3.48, podemos observar a análise por MEV da amostra 06 de aço IF 0,7 a 25°C. Nela podemos observar o aparecimento da corrosão, através de uma diminuição do zinco, mesmo sendo observando que ela ainda existe de maneira bem visível e espessa e do aparecimento dos elementos cloro, sódio e oxigênio, como consequência da corrosão motiva por névoa salina.

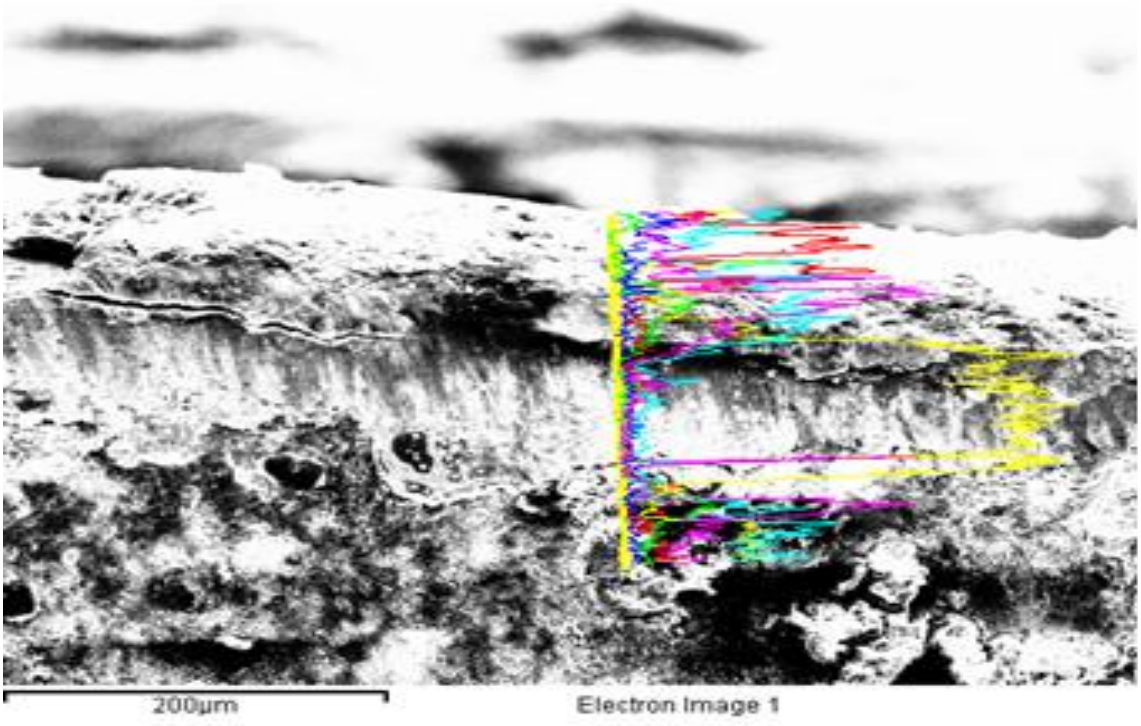


Figura 3.48 – Micrografia e espectros da amostra IF0,7-25-6.

Com o gráfico da figura 3.49, obtido através de analise por MEV da amostra de aço IF 0,7 a 25°C, podemos observar ainda a alta intensidade de ferro na faixa de 100 a 190 µm, demostrando que essa área ainda está bem afastada de todo o processo de corrosão.

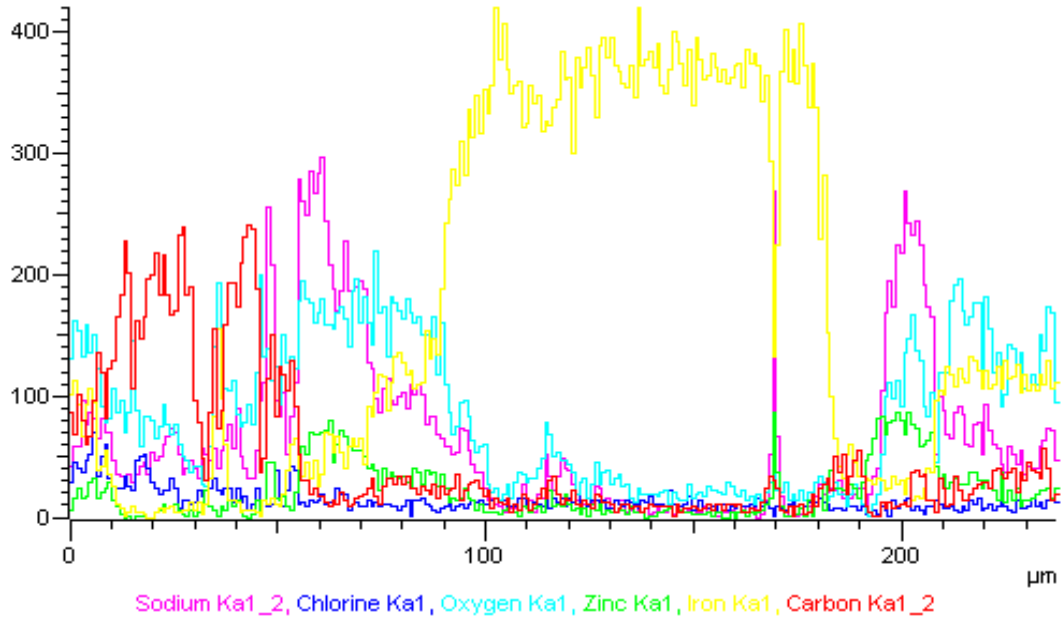


Figura 3.49 – Gráfico mostrando a presença dos elementos identificados na amostra IF0,7-25-6

Para efeito de comparação, e como já foi mencionado o aço de espessura 0,7 foi também submetido ao ensaio de corrosão nas temperaturas de 35°C e 41,5°C. Analisando os resultados dos ensaios realizados a 35°C e 41,5°C, obtidos por MEV, observa-se a presença dos mesmos componentes do ensaio a 25°C. O diferencial é que no ensaio feito a temperatura de 35°C a camada de zinco apareça já bastante danificada, conforme figura 3.50, e há também um aumento significativo de oxigênio e sódio, conforme gráfico 3.51. Nesse gráfico 3.51 observamos que a corrosão está relacionada diretamente com o zinco e ferro, pois conforme a quantidade de zinco diminuiu a quantidade de oxigênio aumenta e a presença do ferro não é constante.

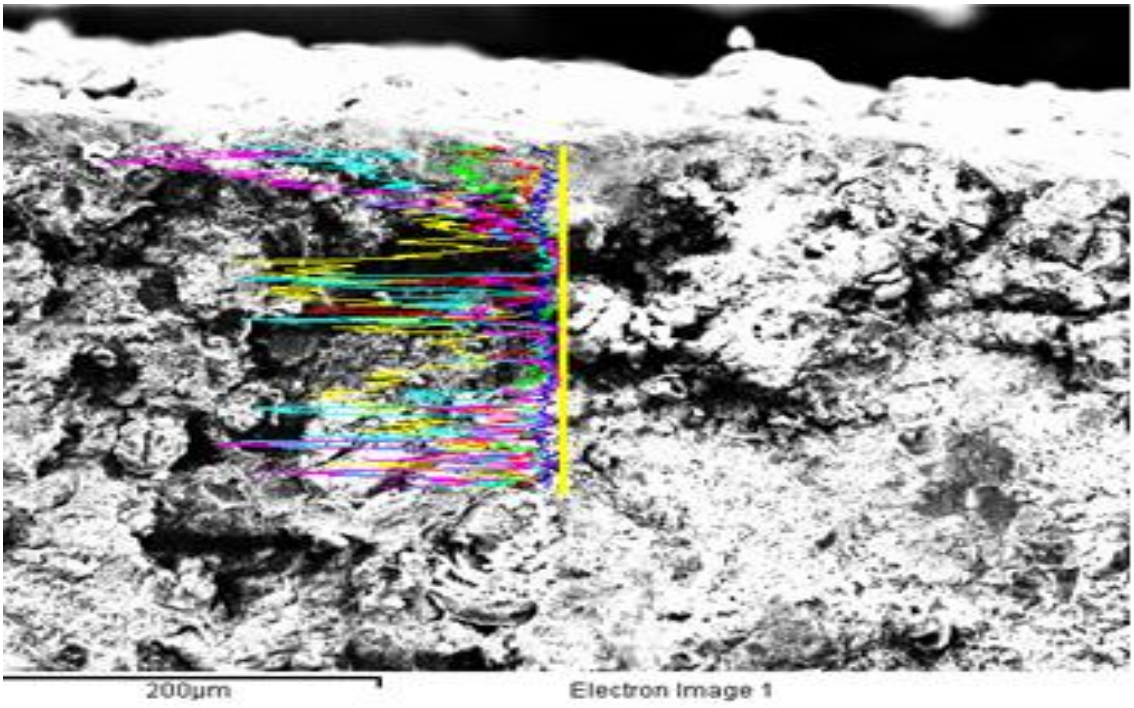


Figura 3.50 – Micrografia e espectros da amostra IF0,7-35-6

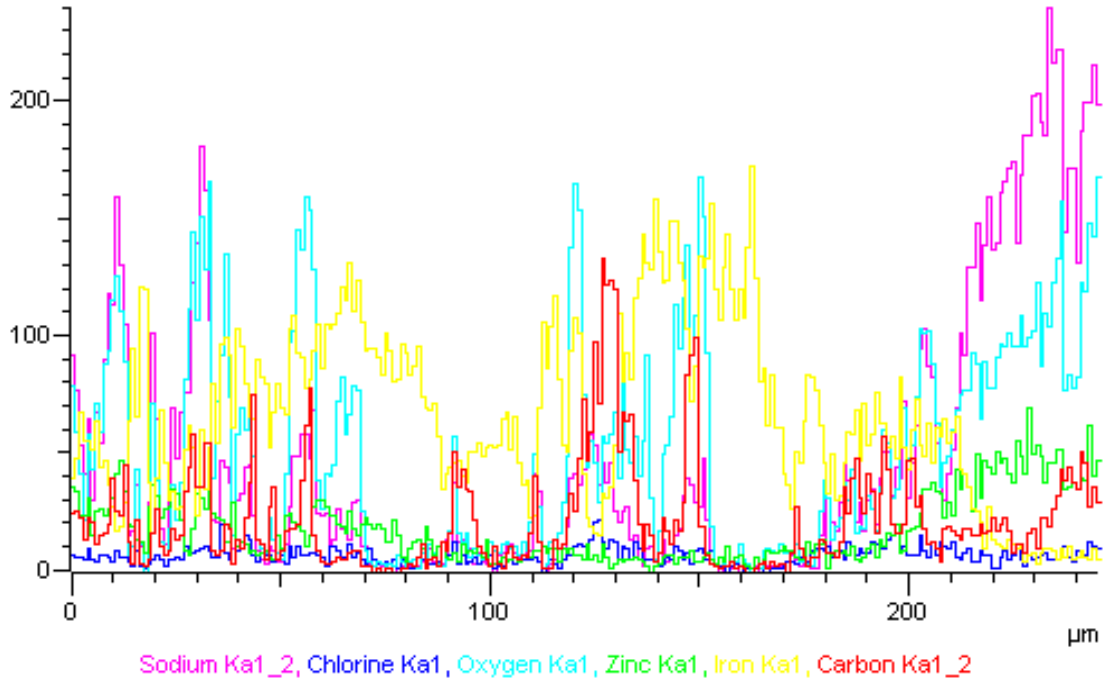


Figura 3.51 – Gráfico mostrando a presença dos elementos identificados na amostra IF0,7-35-6

Na amostra IF0,7-41-6 observamos pelos espectros (figura 3.52) e pelo figura do 3.53 gráfico que ainda existe uma alta concentração de zinco reagindo com uma grande quantidade sódio, cloro e oxigênio demostrando assim uma redução de ferro a ação do cloreto de sódio no processo de corrosão.

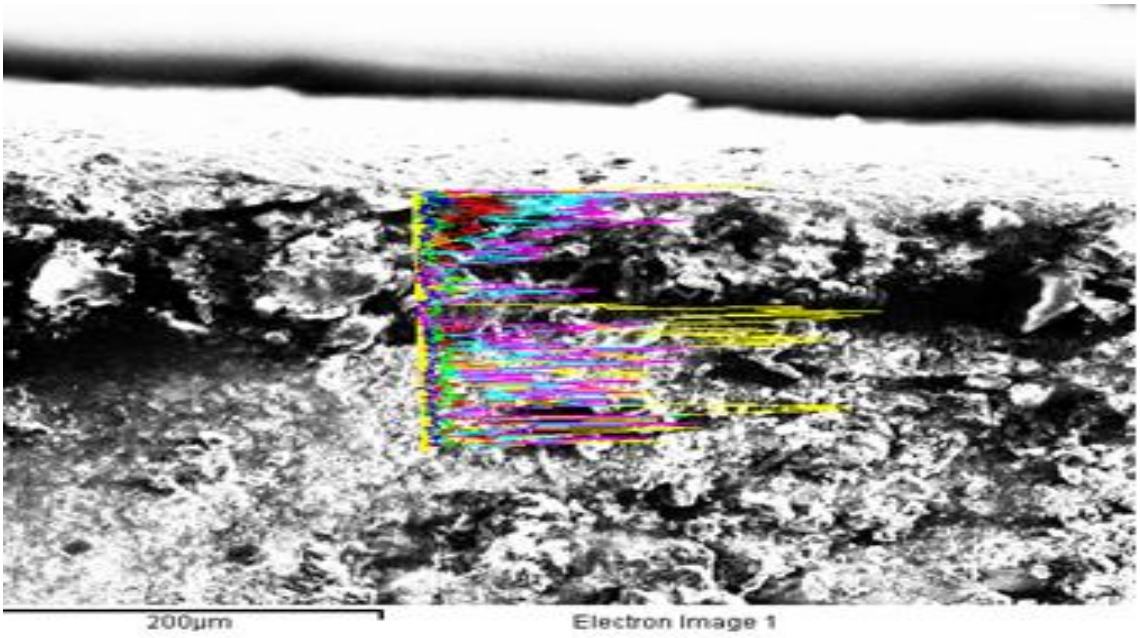


Figura 3.52 – Micrografia e espectros da amostra IF07-41-6

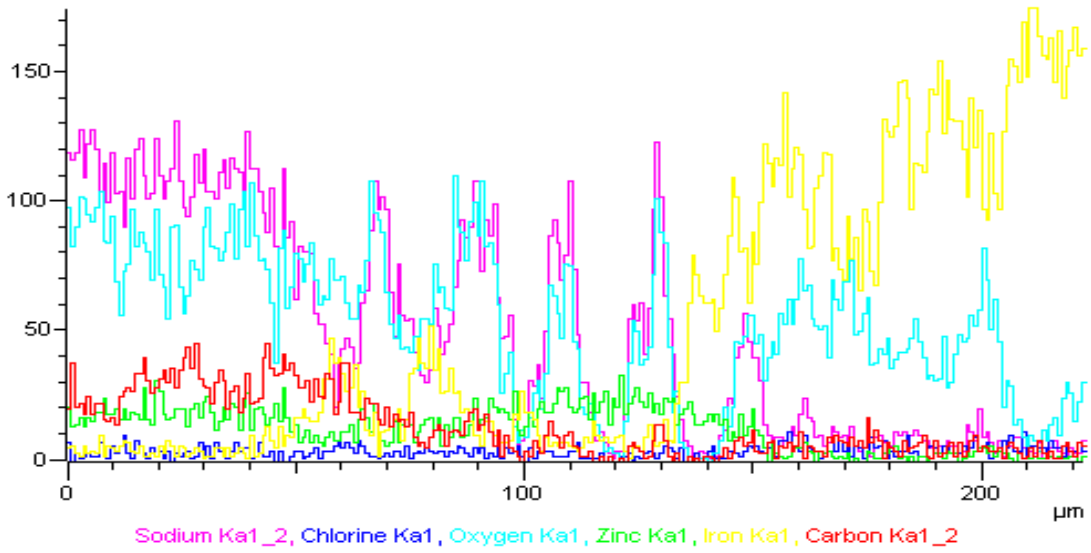


Figura 3.53 – Gráfico mostrando a presença dos elementos identificados na amostra IF07-41-6

Nas amostras de aço IF 1,4 nas temperaturas de 25°, 35° e 41,5°C os elementos identificados foram os mesmos, e as cores com as quais eles foram representados foram as usadas para amostra de aço IF 0,7.

Nas figuras 3.54 e 3.55 referentes a amostra IF1,4-25-6 observamos que a corrosão ocorreu de maneira bem pontual. Este comportamento mostra inicialmente que o aumento da espessura da chapa e o aumento da camada zincada irá dificultar o processo de corrosão na amostra. Apesar da micrografia na figura 3.53 demostrar uma camada de zinco praticamente inalterada, isso é contestado pela presença de oxigênio e sódio que foram também identificados pelos espectros, isso mostra que mesmo que visualmente a minha amostra não apresente pontos claros de corrosão, ela existe, está ali presente mas ainda de maneira tímida.

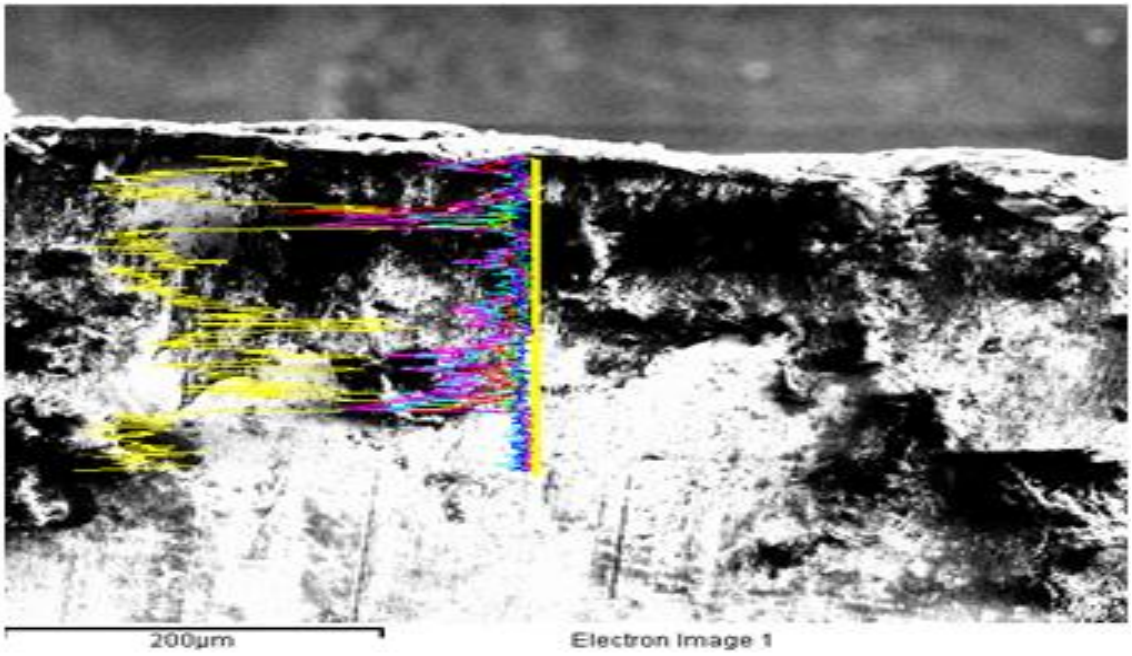


Figura 3.54 – Micrografia e espectros da amostra IF-1,4-25-6

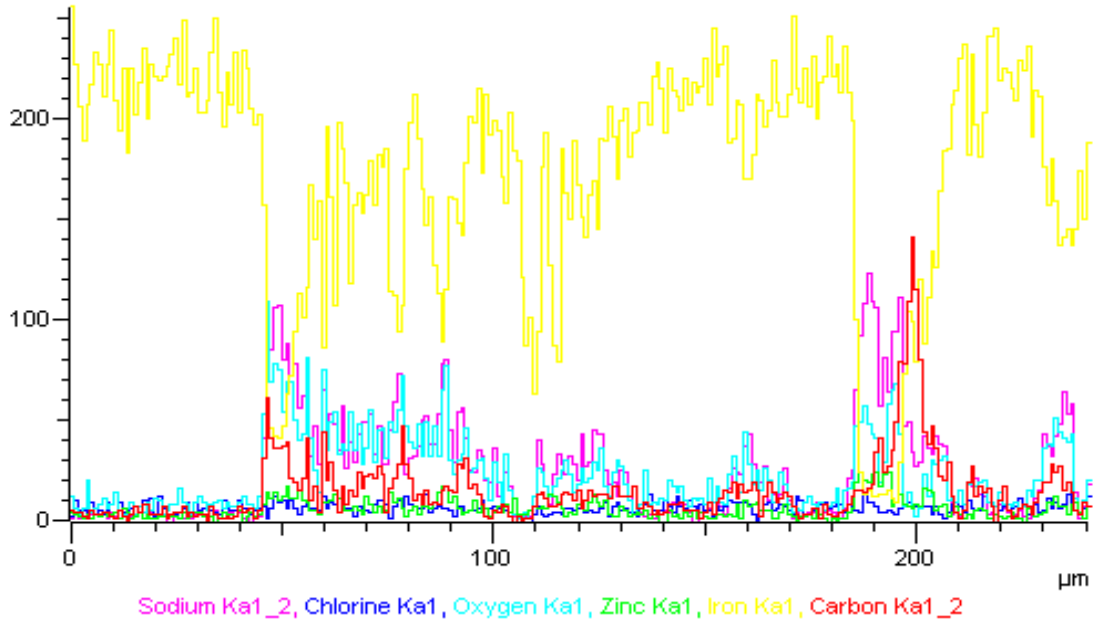


Figura 3.55 – Gráfico mostrando a presença dos elementos identificados na amostra IF1,4-25-6.

Na amostra 6 de 1,4mm de espessura, ensaiada à 35°C observamos um aumento significativo na taxa de corrosão do aço IF. Em contrapartida, conseguimos observar ainda claramente áreas de zincagem e áreas onde está somente a presença do ferro, esse fato pode ser observado pela a imagem na figura 3.56. A corrosão ainda se manteve em áreas pontuais como podemos observar pelo gráfico 3.57, o que mostra que a chapa de 1,4mm é muito mais resistente a corrosão que a chapa de 0,7mm devido a sua espessura de chapa e de zincagem obtida e aos altos picos de ferro que podem ser observados. A possível explicação para que corrosão esteja sendo observada em um ponto característico pode se dever ao fato da galvanização não ter sido feita de maneira homogênea na peça.

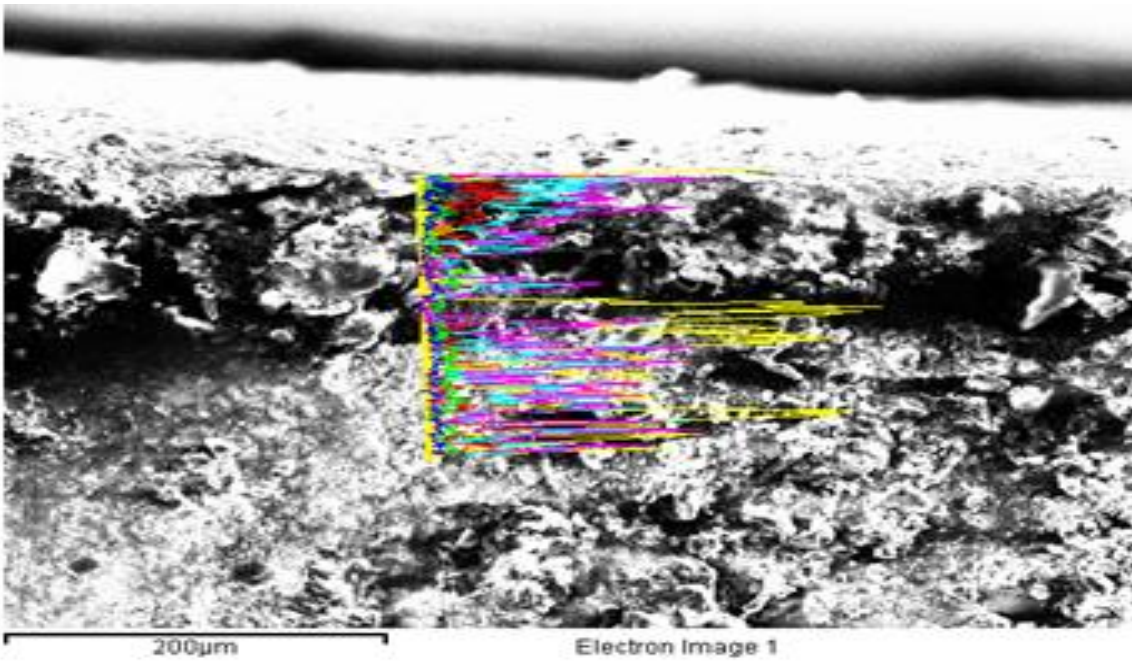


Figura 3.56 – Micrografia e espectros da amostra IF1,4-35-6.

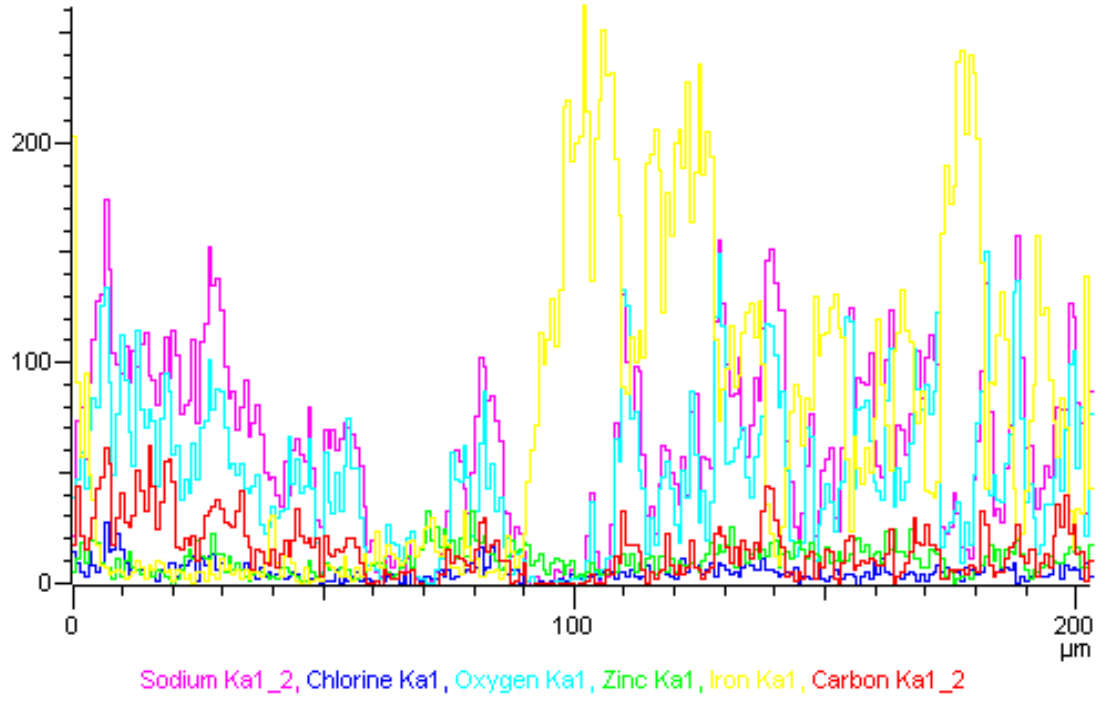


Figura 3.57– Gráfico mostrando a presença dos elementos identificados na amostra IF 1,4-35-6.

Para a amostra 06 de aço IF 1,4 ensaiado à 41,5° fica claro que a corrosão ocorreu de maneira homogênea como é apresentado pelo gráfico na figura 3.59, pois conseguimos observar os altos picos de oxigênio. O fator interessante é o percentual de zinco ter sido ainda maior, o que significa que ele ainda está presente na amostra. Isso mostra que apesar da corrosão estar sendo de maneira mais homogênea nessa peça ela ainda não ocorreu 100%, Esse fato é explicado pelo fato do zinco ter reagindo com oxigênio e cloro, formando outros componentes ou pelo fato de que a uma temperatura alta e com os seus potenciais padrão de corrosão o zinco já não protege o ferro com tanta eficiência, facilitando, consequentemente a sua oxidação.

Na figura 3.58 podemos observar as análise através dos espectros obtidos onde o pico de zinco, sódio e oxigênio foram altos enquanto o de ferro reduziu bastante.

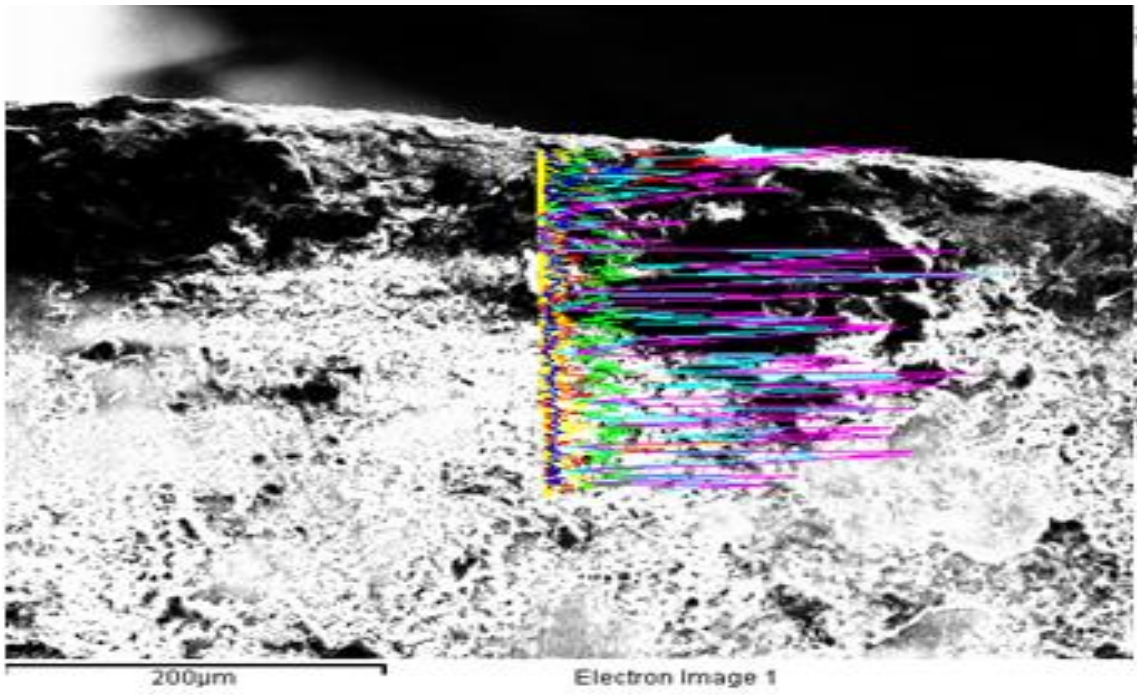


Figura 3.58 – Micrografia e espectros da amostra IF1,4-41-6.

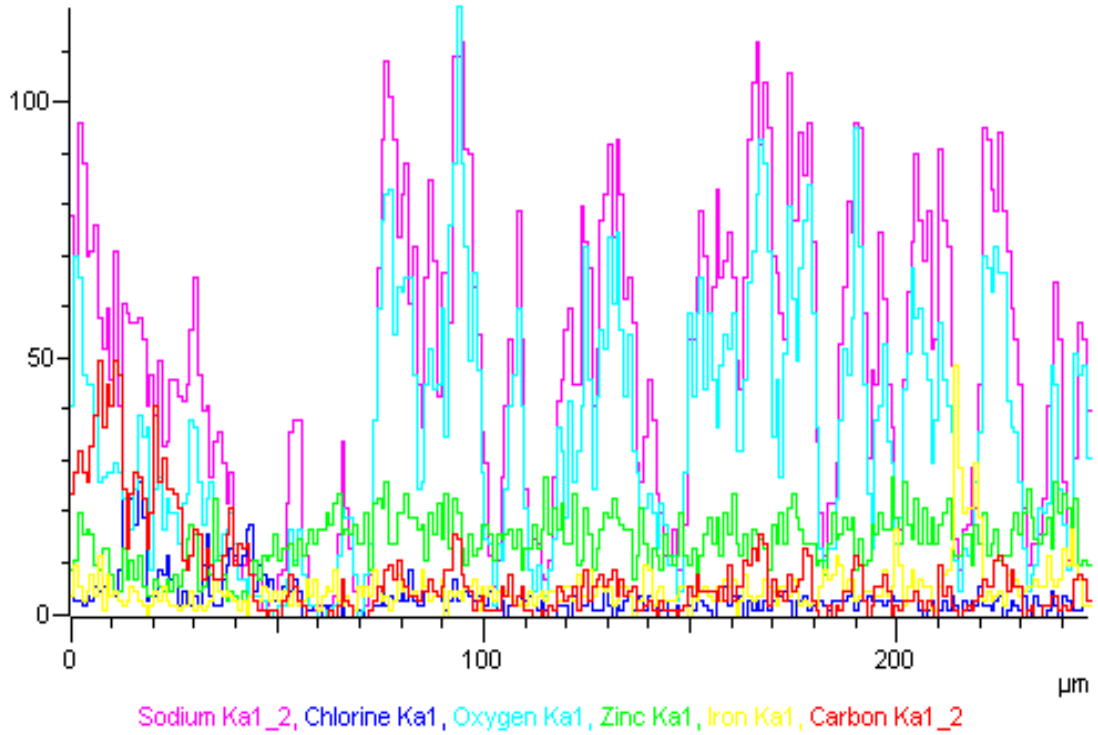


Figura 3.59 – Gráfico mostrando a presença dos elementos identificados na amostra IF1,4-41-6.

4 – Discussão de Resultados

Segundo a Abrafati (Associação Brasileira dos fabricantes de tintas) [61], uma das principais vantagens do ensaio de névoa salina continuo é o fato de ser um procedimento normalizado cujas condições de ensaio são conhecidas mundialmente, permitindo com isso uma comparação de resultados. Por outro lado, a grande desvantagem observada pela Abrafati e por outros autores como Assis [19] e Souza [48] atribuída a este ensaio está na deficitária correlação entre os resultados do ensaio e os resultados na prática (intemperismo natural), uma vez que o ensaio tem por característica apresentar uma atmosfera altamente agressiva, o que pode levar a conclusões errôneas na avaliação de determinadas amostras.

Foram desenvolvidos e implementados, através de pesquisas de campo e laboratório, diversos ensaios cíclicos que introduzem e alternam vários fatores como: temperatura, secagem, imersão, repouso, abrasão mecânica (poeiras e pedras) agentes químicos, umidade (saturada e controlada), entre outros. Muitos desses fatores, que não são levados em conta no ensaio de névoa salina tradicional, agem como ativadores ou catalizadores de processos de corrosão específicos. Maciel [61,62] e Cremmer [50], em seus artigos, colocam que os ensaios cíclicos acelerados tem como objetivo obter um procedimento de ensaio que melhor se correlacione à vida útil do revestimento.

Ao ser analisada a questão do aumento de massa das amostras durante o ensaio de névoa salina, conclui-se que esse aumento se deve pela presença de compostos óxidos e sais formados durante o processo de corrosão. Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Tridapalli [44] em seus testes. O material não poderia ser limpo após o ensaio, uma vez que a limpeza removeria em parte ou totalmente a área corroída, que ao contrário disto, precisaria estar intacta para as futuras análises. Utilizando as tabelas 4.1, 4.2 e 4.3, apresentadas abaixo, que mostram o ganho de massa durante os ciclos de ensaio, observamos que, segundo a regra de Hunt, um aumento de temperatura em 10°C provocaria um aumento 2 vezes maior que na velocidade da reação, fazendo assim com que a corrosão ocorresse de maneira mais acelerada. Nos resultados encontrados observa-se que, realmente, o aumento das temperaturas durante os ensaios trouxe uma grande diferença no comportamento da corrosão, aonde a menor temperatura ensaiada, 25°C, não provocou uma corrosão significativa nas amostras durante as 48 horas de ensaio cíclico. Já no ensaio realizado a 41,5°C, com um tempo de apenas 16 horas de ensaio, a amostra

já encontrava-se em situação mais corroída que a amostra ensaiada por um período maior na temperatura de 25°C. Este resultado, confirma a relação entre a velocidade da reação e o processo de corrosão encontrada nas literaturas propostas por Usberco[24] e Freitas[29].

Segundo Smith [47], uma vez que a corrosão é provocada por uma reação química, a velocidade com a qual se processa dependerá, até certo ponto, da temperatura e da concentração das espécies envolvidas. Outros fatores, tais como os esforços mecânicos e a erosão, também podem contribuir no processo de corrosão.

Brito, em seu trabalho de pesquisa [42], compara 5 diferentes condições de aço no ensaio acelerado de corrosão. O aço na condição 5, um aço carbono (Fe/Cr), após um ensaio continuo por 36 horas em uma câmara de névoa salina, atingiu um percentual de área corroída, em relação aos pontos marcados, de 54%, o que este autor caracterizou como uma elevada degradação para os ensaios de névoa salina. Brito validou seus resultados através de comparativos com a norma e outros artigos.

Nos testes realizados para esse trabalho, nas tabelas 4.1 e 4.2, observamos o percentual de pontos corrosão para cada uma das amostras ensaiadas. É importante destacar que foi estabelecido corrosão efetiva, os pontos de corrosão vermelha e preta, e pelos mesmos seguir uma ordem de aparecimento (primeiros os pontos de corrosão branca, depois os pontos de corrosão preta e por fim os pontos de corrosão vermelha) como é observado visualmente nas amostras e na dissertação de Brito [42].

Tabela 4.1 – Análise percentual dos pontos de corrosão em cada amostra - amostras de aço IF 0,7

Amostra	Horas de ensaio	25°C		35°C		41,5°C	
		% de pontos com corrosão	% de pontos sem corrosão	% de pontos com corrosão	% de pontos sem corrosão	% de pontos com corrosão	% de pontos sem corrosão
IF-0,7-X"-1	8	57,3	42,70	38,55	62,45	62,49	37,51
IF-0,7-X"-2	16	54,17	45,83	47,91	52,09	77,09	22,91
IF-0,7-X"-3	24	57,3	42,70	53,20	46,80	61,46	38,54
IF-0,7-X"-4	32	64,59	35,41	56,25	43,75	71,88	28,12
IF-0,7-X"-5	40	54,17	45,83	70,83	29,17	88,55	11,45
IF-0,7-X"-6	48	38,54	61,45	87,50	12.50	79,17	20,83

Tabela 4.2 – Análise percentual dos pontos de corrosão em cada amostra - amostras de aço IF 1,4.

Amostra	Horas de ensaio	25°C		35°C		41,5°C	
		% de pontos com corrosão	% de pontos sem corrosão	% de pontos com corrosão	% de pontos sem corrosão	% de pontos com corrosão	% de pontos sem corrosão
IF-1,4-X"-1	8	37,50	62,50	57,15	45,83	57,30	42,70
IF-1,4-X"-2	16	60,42	39,58	65,63	34,38	54,17	45,83
IF-1,4-X"-3	24	48,96	51,04	50,00	50,00	78,12	21,88
IF-1,4-X"-4	32	65,62	34,38	72,91	27,08	68,76	31,24
IF-1,4-X"-5	40	48,96	51,04	52,09	47,91	88,76	11,45
IF-1,4-X"-6	48	59,37	40,63	64,59	35,41	78,12	21,88

Como foi planejado, neste trabalho, a realização de ciclos de ensaios foi de 8 horas totalizando 48 horas de ensaio, e o trabalho de Brito [42] foi continuo somente até 36 horas em 35°C. Para existir uma comparação, utilizou-se o ensaio continuo de 36 horas e os ensaios cíclicos nas variações de 32 e 40 horas todos na temperatura de 35°C. Observou-se que a amostra IF0,7-35-5 que é a amostra após 40 horas de ensaio, o valor da taxa de corrosão chegou a 70,85%. No de ensaio de 32 horas, a 35°C, amostra IF0,7-35-4, a porcentagem de área corroída foi de 56,35%, o que mostra que já para um período de 32 horas de ensaio, a quantidade de área corroída foi superior, em praticamente 2,5%, ao encontrado por Brito que foi de 54%. Para a análise da amostra de 1,4mm, o valor do percentual de área corroída encontrado será próximo ao observado por Brito quando a amostra cíclica tiver somente 40 horas de ensaio.

Baseado nesta analise podemos determinar que o ensaio cíclico consegue em um tempo menor (6 horas a menos), atingir os padrões de pontos de corrosão encontrados no ensaio continuo na temperatura de 35°C, chegando assim a resultados parecidos. Tal resultado pode ser justificado pelo fato das amostras terem sido retiradas de dentro da câmara para secagem. Dentro dessa câmara, durante o ensaio contínuo, a amostra fica exposta somente a atmosfera da névoa salina. Ao sair de dentro da câmara, a amostra passa a ser submetida a um processo de secagem natural. A explicação para essa aceleração no tempo de corrosão durante o ensaio cíclico está na elevada presença de oxigênio, água e vapores ácidos presentes na atmosfera, que como consequência, irão favorecer uma secagem mais rápida e um aumento da velocidade da corrosão uma vez que esses componentes participam diretamente do processo de corrosão [19,48].

Um comparativo importante de resultados pode ser observando quando comparamos as amostras de IF0,7-35 e IF1,4-35. Nas amostras de menor espessura houve um crescimento continuo de pontos de corrosão, enquanto que nas amostras de maior espessura esse crescimento se deu de forma desordenada. Isso pode ser explicado pelo fato das amostras com maior espessura poderem conter fraturas que influenciem no processo de corrosão, como é mencionado por Marques [7]. Esse processo é possível pois se a aderência do zinco na chapa não for suficiente em determinados pontos ou até mesmo não ocorrer de maneira homogênea irá facilitar o avanço da corrosão.

Com um trabalho envolvendo tantas variáveis, comprovar se a temperatura é realmente um fator de crescimento de corrosão se faz necessário. Inicialmente um comparativo com o ganho de massa em cada ensaio do processo foi feito. Os resultados podem ser observados nas tabelas 4.3 à 4.5, para o IF 0,7, seguidas respectivamente pelos seus gráficos para uma melhor observação e nas tabelas 4.4 á 4.6 para o IF 1,4, seguidas também dos seus respectivos gráficos.

Tabela 4.3 – Análise de ganho de massa por tempo de ensaio do aço IF 0,7, ensaiado à 25°C

Amostra	Massa inicial (g)	Tempo (horas)					
		8	16	24	32	40	48
IF0,7-25-1	9,367	0,007	-	-	-	-	-
IF0,7-25-2	9,917	0,013	0,010	-	-	-	-
IF0,7-25-3	9,494	0,007	0,016	0,005	-	-	-
IF0,7-25-4	9,211	0,011	0,015	0,001	0,012	-	-
IF0,7-25-5	8,963	0,009	0,019	0,006	0,018	0,002	-
IF0,7-25-6	8,898	0,007	0,015	0,002	0,007	0,002	0,002

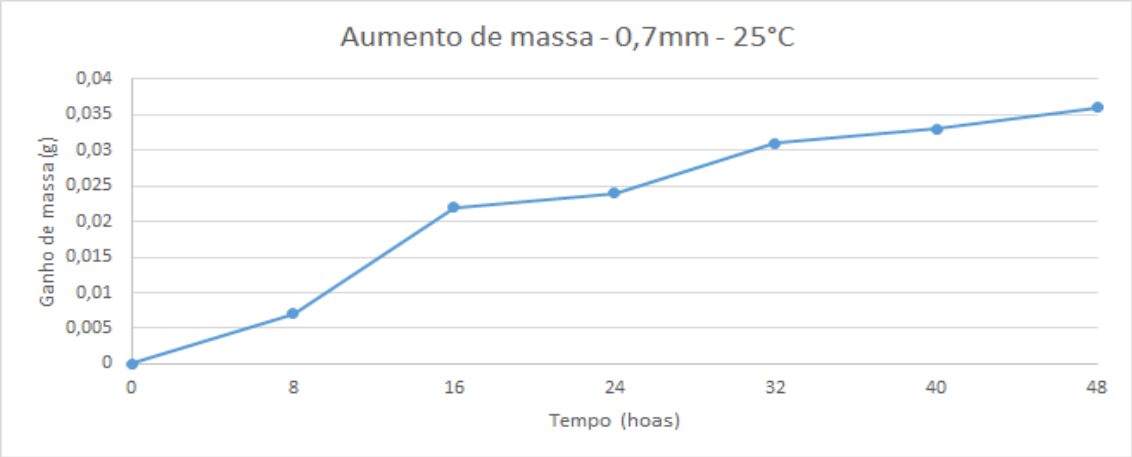


Figura 4.1 – Aumento de massa da amostra IF0,7-25-6 ensaiadas entre 8 e 48 horas.

Tabela 4.4 – Análise de ganho de massa por tempo de ensaio do aço IF 0,7, ensaiado à 35°C

Amostra	Massa inicial (g)	Tempo (horas)					
		8	16	24	32	40	48
IF0,7-35-1	9,918	0,006	-	-	-	-	-
IF0,7-35-2	9,477	0,008	0,009	-	-	-	-
IF0,7-35-3	9,654	0,006	0,012	0,009	-	-	-
IF0,7-35-4	9,500	0,011	0,006	0,011	0,008	-	-
IF0,7-35-5	9,520	0,011	0,005	0,009	0,003	0,009	-
IF0,7-35-6	9,308	0,011	0,005	0,010	0,001	0,007	0,002

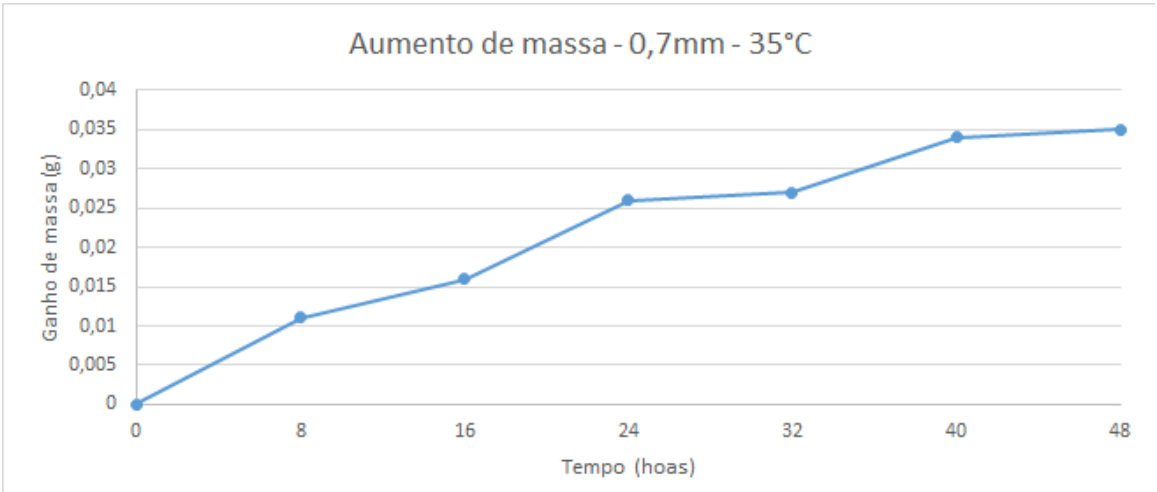


Figura 4.2 – Aumento de massa da amostra IF0,7-35-6, ensaiadas entre 8 e 48 horas.

Tabela 4.5 – Análise de ganho de massa por tempo de ensaio do aço IF 0,7, ensaiado à 41,5°C

Amostra	Massa inicial (g)	Tempo (horas)					
		8	16	24	32	40	48
IF0,7-41-1	9,742	0,008	-	-	-	-	-
IF0,7-41-2	9,573	0,010	0,019	-	-	-	-
IF0,7-41-3	9,792	0,008	0,014	0,009	-	-	-
IF0,7-41-4	9,268	0,013	0,014	0,011	0,012	-	-
IF0,7-41-5	9,669	0,016	0,013	0,014	0,011	0,007	-
IF0,7-41-6	9,094	0,020	0,009	0,018	0,013	0,004	0,003

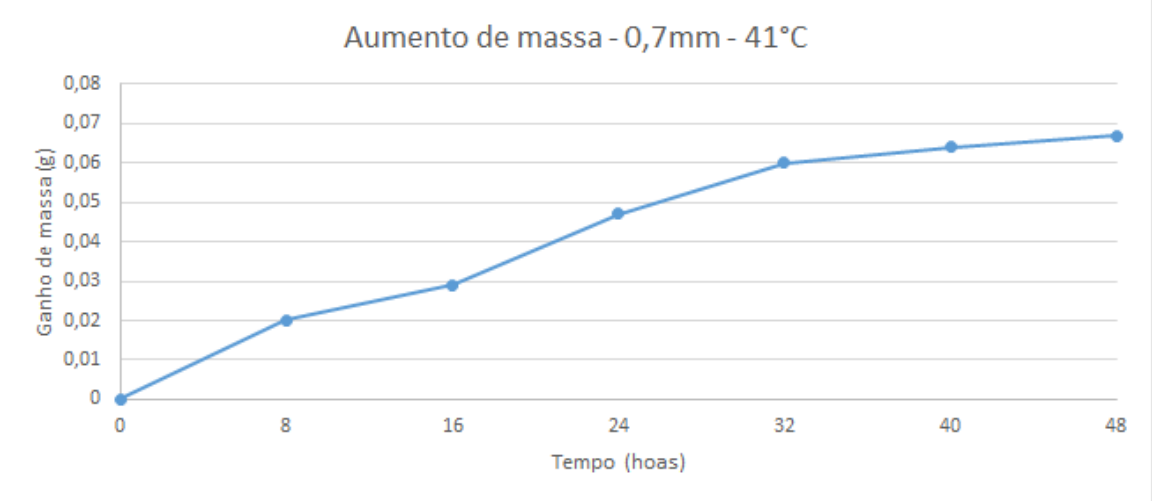


Figura 4.3 – Aumento de massa da amostra IF0,7-41-6, ensaiadas entre 8 e 48 horas.

Tabela 4.6 – Análise de ganho de massa por tempo de ensaio do aço IF 1,4, ensaiado à 25°C

Amostra	Massa inicial (g)	Tempo (horas)					
		8	16	24	32	40	48
IF1,4-25-1	20,416	0,000	-	-	-	-	-
IF1,4-25-2	19,955	0,002	0,011	-	-	-	-
IF1,4-25-3	20,450	0,008	0,002	0,010	-	-	-
IF1,4-25-4	17,508	0,002	0,005	0,001	0,002	-	-
IF1,4-25-5	16,527	0,000	0,011	0,000	0,001	0,002	-
IF1,4-25-6	17,953	0,004	0,005	0,000	0,004	0,002	0,001

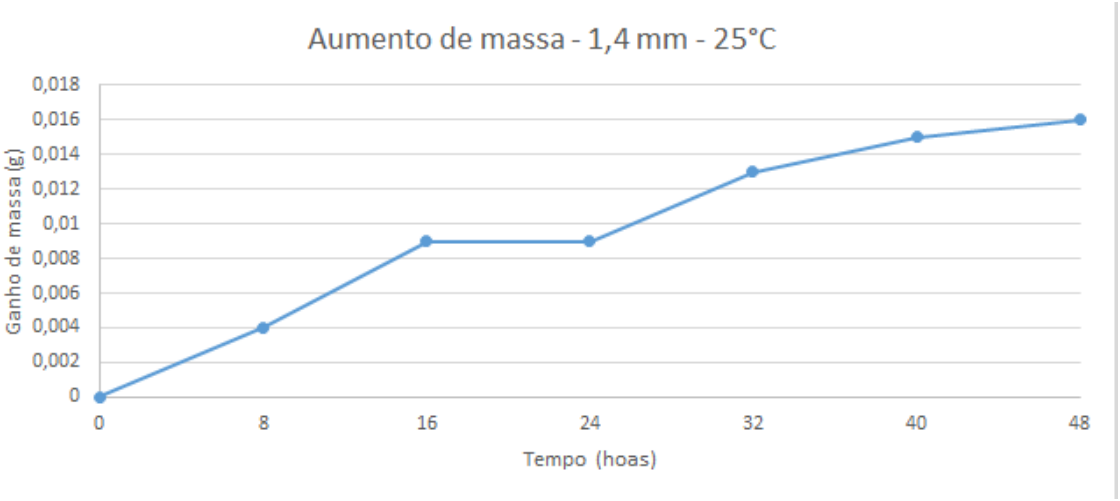


Figura 4.4 – Aumento de massa da amostra IF1,4-25-6 ensaiada entre 8 e 48 horas.

Tabela 4.7 – Análise de ganho de massa por tempo de ensaio do aço IF 1,4, ensaiado à 35°C

Amostra	Massa inicial (g)	Tempo (horas)					
		8	16	24	32	40	48
IF1,4-35-1	16,938	0,002	-	-	-	-	-
IF1,4-35-2	18,142	0,004	0,005	-	-	-	-
IF1,4-35-3	18,718	0,005	0,004	0,006	-	-	-
IF1,4-35-4	19,239	0,003	0,007	0,003	0,000	-	-
IF1,4-35-5	17,546	0,008	0,002	0,000	0,002	0,002	-
IF1,4-35-6	18,978	0,009	0,001	0,000	0,003	0,003	0,004

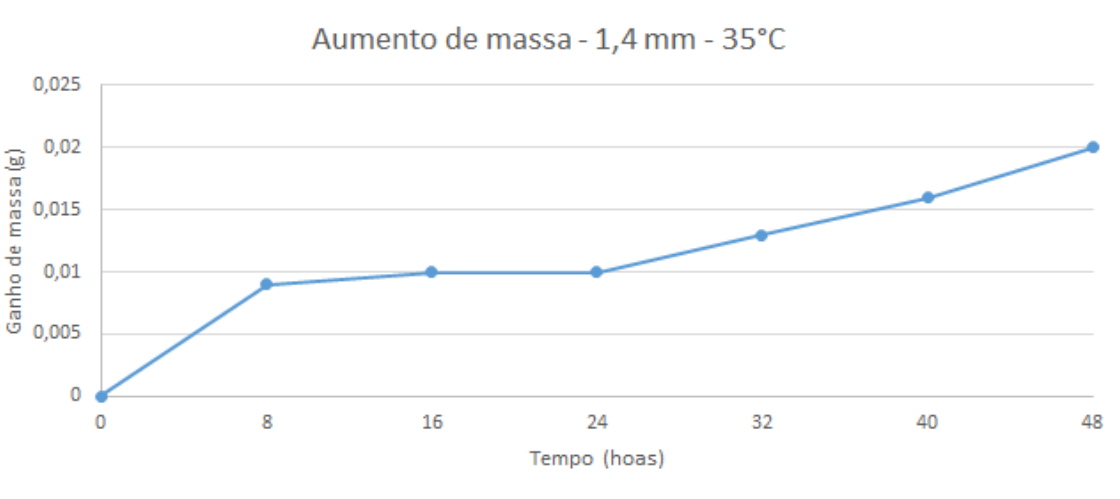


Figura 4.5 – Aumento de massa da amostra IF1,4-35-6 ensaiada entre 8 e 48 horas

Tabela 4.8 – Análise de ganho de massa por tempo de ensaio do aço IF 1,4, ensaiado à 41°C

Amostra	Massa inicial (g)	Tempo (horas)					
		8	16	24	32	40	48
IF1,4-41-1	19,115	0,004	-	-	-	-	-
IF1,4-41-2	18,810	0,011	0,001	-	-	-	-
IF1,4-41-3	18,886	0,012	0,002	0,005	-	-	-
IF1,4-41-4	18,790	0,011	0,004	0,005	0,000	-	-
IF1,4-41-5	18,448	0,009	0,005	0,006	0,000	0,005	-
IF1,4-41-6	21,749	0,014	0,003	0,004	0,001	0,006	0,0015

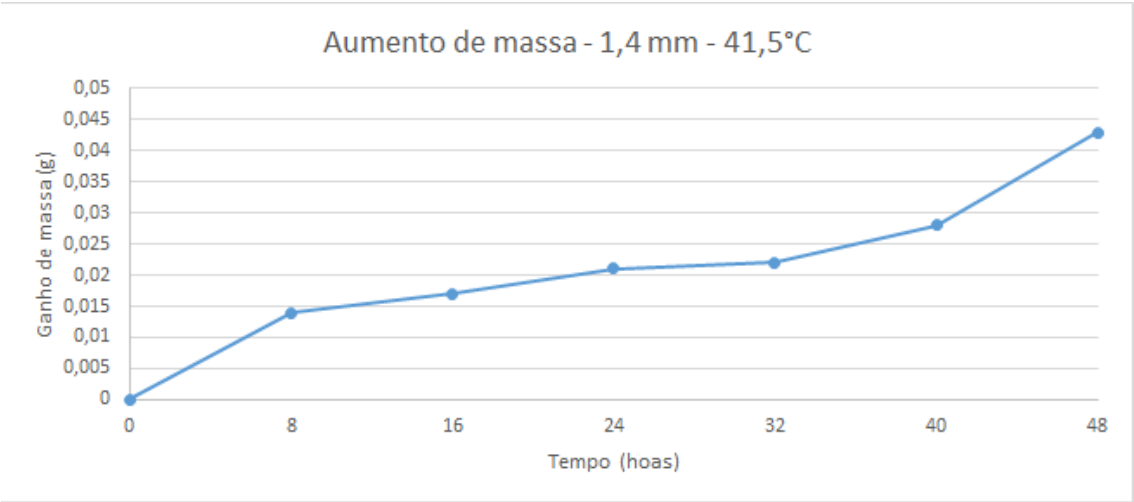


Figura 4.6 – Aumento de massa da amostra IF1,4-41-6 ensaiada entre 8 e 48 horas

Através dos resultados, é possível observar que as amostras de 0,7mm de espessura tiveram um aumento de massa mais significativo do que as amostras de 1,4mm de espessura. Esse aumento de massa é explicado pela formação de uma fina camada de óxidos formada na superfície da amostra, que permite o processo de corrosão.

A temperatura, uma outra variável usada durante os ensaios cíclicos de névoa salina, foi um fator de grande contribuição neste trabalho quando buscamos um comparativo do comportamento sob corrosão entre chapas da mesma espessura. Conforme estabelecido pela norma ASTM B 117 e confirmada nos trabalhos escritos por Spinelli [31] e Assis [19], a temperatura de 35°C é a melhor para ser trabalhada. Ao tentarmos elevar 10°C ou diminuir 10°C em relação a essa temperatura, estamos buscando evidências de proporcionalidade e aumento na taxa de crescimento da corrosão.

Com isso observa-se que as amostras de 0,7mm, ensaiadas na temperatura de 25°C, ao final das 48 horas de ensaio, teve resultados de menor expressão com relação a corrosão sofrida pela amostra de mesma espessura ensaiada a 35°C após o mesmo período de 48 horas e ainda menores do que o mesmo tipo de amostra ensaiada a 41,5°. A amostra de 0,7mm ensaiada a 41,5°, foi portanto, a que apresentou um maior resultado de corrosão, validando e confirmando o argumento de que o aumento de temperatura favorece as taxas de corrosão. Este resultado também foi encontrado na literatura por outros autores [24, 29].

Observamos que para as amostras de 1,4mm o crescimento da corrosão também ocorreu como era esperado, aumentando-se as temperaturas, as taxas de corrosão foram maiores. Comparando as amostras de 0,7mm com as de 1,4mm observou-se que a corrosão da chapa de 0,7mm foi bem maior do que a de 1,4mm, isso se confirma pela espessura da chapa. Observou-se que de 1,4 cresce ne maneira desorganizada suas taxas de corrosão o que pode ser explicado por Smith [47], onde evidência que essas chapas por terem uma maior espessura de zincagem estão mais sujeitas a trincas nessas condições poderá favorecer a corrosão ao posso que na verdade deveria funcionar como uma maior proteção. Esses valores podem ser confinados ao analisarmos as tabelas 4,1 e 4,2 dispostas anteriormente.

O Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) foi utilizado nesse trabalho, para auxiliar na análise e explicação dos efeitos da espessura da chapa galvanizada. Inicialmente no que se refere à composição química do material, através da análise feita pelo MEV/EDS, todos os elementos químicos informados pelo fabricante, quando do fornecimento da chapa para esse trabalho, foram encontrados.

Com a realização do ensaio de névoa salina, as análises por MEV foram fundamentais para a observação das fases que foram formadas. Por uma limitação de tempo, somente as amostras finais de 48 horas foram analisadas pelo MEV em todas as condições juntamente com as amostras como recebidas para que fosse feita uma comparação. Nas duas amostras de aço IF 0,7mm e 1,4mm, ensaiadas nas três temperaturas distintas, observou-se uma igualdade de elementos encontrados, o que já era esperado, isso porque o material é o mesmo e as condições dos ensaios também. Dentre os elementos encontrados, os que se destacaram foram: carbono, zinco, ferro, oxigênio, cloro e sódio, todos em maiores percentuais em relação a possíveis presença de outros

elementos e variando em quantidade de amostra para amostra. Utilizando micrografias feita pelo MEV observamos que a camada zincada do aço IF0,7 é a metade da camada do aço de espessura 1,4mm. Isso permite concluir que a camada de zinco na amostra de 0,7mm de espessura irá proteger muito menos o aço do que a camada da chapa de 1,4mm. Esta observação confirma os dados que mostram taxas de corrosão muito maiores na chapa de 0,7 quando comparada a de 1,4mm [63].

Abaixo na figura 4,7 podemos ver essa diferença de espessuras nas galvanizações.

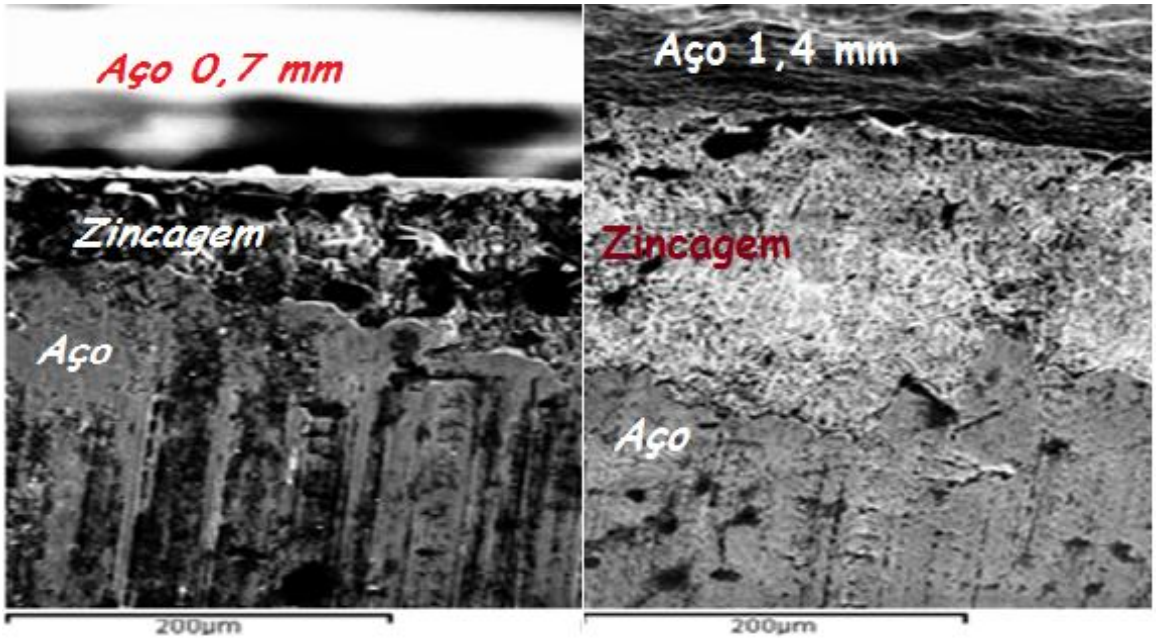


Figura 4.7 – Espessura de zincagem das chapas de 0,7 e 1,4mm

Ao analisar a amostra como recebida através do equipamento de difração de Raios-X, encontramos o composto Ferro-Zinco ($FeZn_{13}$), confirmando o que já havia sido encontrado através das análises por MEV.

Conclusão

Com todo o trabalho de pesquisa bibliográfica feito e através das análises de resultados obtidos com os ensaios cíclicos de névoa salina, podemos concluir que alguns pontos sobre a corrosão salina podem ser apoiados e outros devem ser revistos.

Inicialmente, pelo ensaio de névoa salina se tratar de um teste em que as variações externas devem fazer parte dos resultados, o teste cíclico se mostrou mais realístico do que o continuo, o que faz pensar que esse teste pode sim trazer bons resultados para empresa. Como foi observado nesse trabalho, o teste cíclico se mostrou mais eficiente do que o continuo. Observou-se que em relação a um ensaio continuo de 36 horas, um ensaio cíclico com média de 30 a 32 horas atingiria as mesmas proporções, o determina uma maior eficiência do ensaio cíclico em até 6 horas, o que pode ser convertido em economia energética, e tempo de trabalho.

Tanto o ensaio contínuo quanto o ensaio cíclico possibilitam a determinação do fator de resistência a corrosão de uma chapa, o que podemos considerar mais um ponto positivo para o teste cíclico, mostrando assim, eficiência ao ponto de substituir o teste continuo. Como se observa na literatura a única importância do teste continuo é averiguar a capacidade de resistência a corrosão, o cíclico vem acrescentar os fatores de secagem atmosférica que é um dos fatores de intemperismo que deve ser levado em consideração. Observou-se que durante esse trabalho os ensaios cíclicos aumentaram significativamente as taxas de corrosão em um espaço de tempo menor, e seguindo todas as normas da ASTM b 117.

Durante os ensaios e os resultados obtidos, a amostra que possui um espessura menor, no caso as chapas de 0,7 mm, teve muito mais suscetibilidade a corrosão que as chapas de maior espessura que são as chapas de 1,4 mm. Como o princípio da galvanização e proteção contra a corrosão, essa espessura terá enorme influência nos resultados finais.

Outro fator que vale ressaltar e é observado pelo MEV é que a camada de galvanização de maneira homogênea se torna muito difícil, ocorrendo assim o favorecimento de pontos de corrosão em locais específicos. Observou-se que a amostra de menor espessura tinha uma camada mais homogênea sobre a amostra, pode-se determinar que os resultados serão mais confiáveis se trazer a realidade para chapas mais finas.

Ao comparar-se os resultados dos ensaios de 35°C e 41,5°C observou-se que as chapas certamente sofrem um processo de corrosão mais rápido que as amostras ensaiadas a uma temperatura de 25°C. Esse fato é explicado pelo fato da temperatura ser um dos componentes responsáveis pelo aumento da velocidade de reação, juntamente com a superfície de contato e as concentrações dispostas no processo.

Fica claro que o ensaio de névoa salina de maneira cíclica pode ser utilizado, e deve ser mais estudado. Realizar os ensaios todas as condições de intemperismos realmente ficará muito difícil, mas realizando ensaios com situações cíclicas pautando em cada momento um condição de intemperismo, analisando local e condições para uso da chapa, poderá ocorrer um ganho quanto ao tempo de início da corrosão, reduzindo assim o gasto com esse problema.

Estudos Propostos

1 – Utilizar fatores de intemperismos diferentes para ensaio cíclico salino, como condições ácidas ou concentrações diferentes e observar se os resultados são os mesmos obtidos em um ensaio continuo.

2 – Fazer um comparativo das chapas de aço IF com outro tipo de aço, respeitando as condições desse ensaio realizado e dessa dissertação concluída.

3 – Caracterizar as amostras obtidas após o ensaio proposto por esse trabalho, para ver seu comportamento microstrutural.

4- Trabalhar com outras formas de proteção do aço: como cromagem, pintura de proteção, fazendo assim um comparativo e obtendo a melhor forma de proteção do aço contra a corrosão em ambiente salino.

Referências Bibliográficas

[1] – Portes, Daniel Lacerda – Processos de produção de ferro gusa e aços – CEFET-MG – Divinópolis, Minas Gerais, Brasil, 2009

[2] - Fieto, Barbara Matos. Evolução da microestrutura e das propriedades mecânicas de aços IF tratados termomecanicamente. Trabalho de conclusão de curso para engenharia de materiais – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil. 2013.

[3] – Merçon, Fabio. Sistemas experimentais para eo estudo da corrosão em metais. Químca nova na escola, Vol 33, número 1, 57-60. 2011.

[4] - Pesquisa em site: http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/aco/processo--etapas.asp- acessado em 28/02/2016 as 09:30

[5] – ASTM B117 – Standard practice for operating Salt Spray Apparatus

[6] – CALLISTER, William D. Ciências e engenharia de materiais: uma introdução. Rio de Janeiro 8th ed.

[7] – Marques, Rodrigo José Alves. Avaliação da resistência à corrosão de aços IF revestidos com zinco e ligas de zinco – ferro destinadas à indústria automobilística. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, Brasil 2008.

[8] – **Paranhos**, Rosangela Maria Vitor. Caracterização de fases intermetálicas presentes em aço galvanizado por imersão a quente com tratamento térmico do revestimento metálico. Universidade Federal de Minas Gerais – Brasil. 2010.

[9] – **Carvalho**, Felipe Azevedo. Análise da microestrutura de aços IF recozidos. CEFET – Rio de Janeiro. Brasil. 2014.

[10] – Torres, Ariela da Silva. Aceleração da sensibilidade do ensaio CAIM – Corrosão acelerada por imersão modificada – frente ao processo de corrosão em armaduras por concreto armado – Tese de mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, Brasil. 2006.

[11] - GENTIL, Vicente. *Corrosão / Vicente Gentil* – 6.ed. Rio de Janeiro: LTC 2012.

[12] – **Baptiste Restrepo**, Mônica. Estudo do efeito de autoreparação nos revestimentos aditivados com microcápsulas contendo óleo de linhaça. São Paulo. São Paulo. Brasil. 2012.

[13] – Revista Rust Engenharia - http://www.rust.com.br/noticias/corrosao-causa-grandes-perdas-em-todo-o-mundo - acessado em 23/10/2015 as 20:30

[14] – DUTRA, Aldo Cordeiro. Proteção catódica: técnicas de combate a corrosão/ Aldo Cordeiro Dutra, Laerce de Paula Nunes – 5. Ed. – Rio de Janeiro. Brasil.

[15] – Merçon, Fábio. Corrosão: um exemplo usual de fenômeno químico. Revista química na escola, número 19, páginas 11 a 14 – maio de 2004.

[16] – Melquiades, Rafael Augusto**.** Estudo do oxido misto SiO_2/ ZrO_2/ Al_2O_3 aplicado como inibidor de corrosão do aço carbono. Tese de mestrado. Universidade Estadual de Londrina. Londrina, Parána, Brasil. 2011.

[17] – **Lima**, Suelayne Moreira. Variações microsestruturais em filmes finos de CdTe e submetidos ao tratamento térmico com CdCl2. Instituto Militar de Engenharia (IME). Rio de Janeiro. 2000.

[18] – Silva, Marcos V. F. Corrosão do aço carbono: uma abordagem do cotidiano no ensino da química. Revista química nova, vol 38, No2, 293-296. 2015.

[19] – **Assis,** Sergio Luiz de. Estudo comparativo de ensaios acelerados para simulação de corrosão atmosférica. Tese de mestrado. Instituto de pesquisas energéticas e nucleares. São Paulo, Brasil. 2000.

[20] – Aguiar, Fábio Eliseu Cardoso de. Estudo eletroquímico da corrosão em chapas de aço galvanizadas e fosofotizadas por coil-coating. Tese de mestrado. Universidade Estadual Paulista. Guaratingueta, São Paulo, Brasil. 2003.

[21] – Performace of hot-Dip Galnanized Steel Products. American Galvanizers Association. 1-16.

[22] – **Pesquisa em site:** http://pt.slideshare.net/Luissaulo/aula-ifbaianoeletro quimica - acessado em 10/02/2015 as 20:30

[23] – RUSSEl, John Blair, 1929 – Química geral / John B. Russel; tradução e revisão técnica Márcia Guekezian – 2. Ed. – São Paulo: Pearson Makron Books, 1994. Valume II.

[24] – USBERCO, João. Química, volume 2: fisíco-química/ João Usberco, Edgard Salvador – 13 ed. – São Paulo: Saraiva, 2014

[25] – **Pesquisa em site** - https://pt.wikipedia.org/wiki/Eletr%C3%B3lise – acessado em 10/02/2015 as 16:00

[26] – Fernandes, Neuza Monteiro. Influência nos parâmetros da deposição nas propriedades do revestimento de liga zinco/cobalto. Tese de mestrado. Universidade Campinas. Campinas, São Paulo, Brasil. 2004.

[27] – Oliveira, Antonio Roberto. Corrosão e tratamento de superfície. Instituto Federal de Educação do Pará. Belém - Pará. Brasil. 2012

[28] – Pesquisa em site - http://www.trabalhosfeitos.com/ensaios/Industria-De-Galvanoplastia/54998601.html - acessado em 19/03/2016 as 10:31.

[29] – Freitas, Denise Souza de. Técnicas para avaliação de corrosão – Instituto Nacional de tecnologia – Laboratório de corrosão e proteção/LACOR - Apresentação de aula em PDF (http://sulgas.usuarios.rdc.puc-rio.br/Corrosao_Ensaios.pdf) acessado em 25/01/2016 as 13:25.

[30] – Grassam, Douglas M.More Realistic testes for atmospheric corrosion. ASTM Standardizarion News, 34-39. Estados Unidos. 1996

[31] – **Spinelli,** Domigos J. C.Testes de corrosão. SurTec do Brasil Ltda. São Paulo, Brasil. 2000.

[32] – Vaz, Edmilson Luiz Silva. Um método para avaliar taxa de corrosão. Revista química nova. Vol.34, No 7, 1288-1290. 2011.

[33] – **Trevizan,** Tamires Fantinel. Ensaio de névoa salina (slar Sray): Um estudo teórico sobre a corrosão dos materiais metálicos e revestimentos. Trabalho em congresso. Instituto Federal de educação tecnológica do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, Brasil. 2013.

[34] – **Pesquisa em site -** http://www.foz.unioeste.br/~lamat/downmateriais/materiaiscap9.pdf - acessado em 18/01/2016 as 10:10

[35] – **Kahn**, Henrique. PMI-2201. Difração de Raio-X – apresentação de aula em pdf (http://www.angelfire.com/crazy3/qfl2308/1_multipart_xF8FF_2_DIFRACAO. PDF) acessado em 25/01/2016 as 18:50.

[36] – **Muller**, Jennifer Nadino. Influência do recozimento magnético na microestrutura do aço elétrico de grão não orientado (Fe-3,25%) Si. CEFET – Rio de Janeiro. Brasil. 2011.

[37] – **REED-HILL, E**. Physical Metallurgy Principles. Van Nostrand Hd, Canada. Vol 2. 1973

[38] – **CULLITY,B.D.** Introduction to Magnetic Materiais. Addison-Wesley Publishing Company Massachusetts, 1972.

[39] – **Santos**, Regis Eugenio dos. Ra001148, Microscópio Óptico.

[40] - http://pibidbiologiaufs.blogspot.com.br/2013/03/1-ano_27.html - acessado em 20/01/2016 as 13:30

[41] – **Duarte**, Lauren da Cunha. Aplicações de microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e sistema de energia dispersiva (EDS) no estudo de Gemas: exemplos brasileiros. Instituto de geociências – Universidade federal do Rio Grande do Sul. UFRGS. 2003.

[42] – Brito, Vinicius Ribeiro dos Santos. Caracterização de revestimentos metálicos aspergidos termicamente por arco elétrico. Tese de mestrado. Centro Federal de Educação tecnológica Celso Suckow da Fonseca – Rio de Janeiro, Brasil. 2010.

[43] – Cruz, Magnus Geder Henz. Estudo da substituição de aço convencional por um aço de baixa liga e alta resistência em modulo estrutural. Tese de mestrado. Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. 2006.

[44] – Tridapalli, Claudia Wagenfuhr**.** Estudo comparativo de metodologia de ensaios acelerados de corrosão por frestas nas ligas de aço inox AISI 430 e AISI 304. Tese de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, Brasil. 2011

[45] - ATKINS, Peter W. *Moléculas*, São Paulo, Edusp 2000.

[46] - KOTZ, J. C. *Química Geral e Reações Químicas*. 5. Ed. São Paulo: Pioneira Thomsom Learning. 2005. V1 e 2.

[47] - SMITH, W.F. Princípios de ciência e engenharia dos materiais. São Paulo: McGraw-Hill, 1998

[48] – Souza, D.O - Investigação da corrosividade do ensaio de névoa salina segundo norma isso 9227. Artigo. Encontro e exposição de tratamento de superfícies-III interfinish Latino Americano. Instituto de pesquisas energéticas e nucleares. São Paulo, Brasil.

[49] – Barbosa, Evelin. Reprodução da experiência da gota salina – Evelin Barbosa. Projeto de iniciação didática. Universidade Federal de Itajubá. Minas Gerais, Brasil. 2004.

[50] - N.D. **Cremer**, (1996),"The move to cyclic salt-spray testing from continuous salt spray", Anti-Corrosion Methods and Materials, Vol. 43 Iss 3 pp. 16 – 20

[51] – Bacaltchuk, Cristiane Maria Basto. Efeito do recozimento magnético na microestrutura de amostras de aço elétrico. Artigo. IV Congresso Nacional de Engenharia mecânica. Recife, Brasil 2006.

[52] – Melquiades, Rafael Augusto**.** Estudo do oxido misto SiO_2/ ZrO_2/ Al_2O_3 aplicado como inibidor de corrosão do aço carbono. Tese de mestrado. Universidade Estadual de Londrina. Londrina, Paraná, Brasil. 2011.

[53] – **Pinho,** Magali S. Polímeros Avaliação da resistência à corrosão de compósitos ferromagnéticos com policloropreno ao ensaio de névoa salina. Artigo – V 13, N1. São Carlos, São Paulo, Brasil. 2003.

[54] - Revista aço Brasil, 31° edição – aço Brasil informa – Dezembro 2015

[55] – Modem Machine Shop – An Introduction to cyclic corrosion testing. 2012.

[56] - Ministério de Minas e Energia – Secretaria de geologia, mineração e transformação mineral – SGM. Relatório Técnico 58, Perfil aço; Produto 32 – cadeia de aço. 2009.

[57] – **Revista aço Brasil.** n°11 – Estatística preliminar. 2016

[58] – **Esteves**, Sergio A. M. R. de Ferreira. Desenvolvimento e estudo de tintas para controle da transferência de calor por radiação. Universidade do Porto, Porto, Portugal. 2010.

[59] – **Varavalho,** Rogério. Avaliação da resistência a fadiga em alta temperatura da superliga MAR- M247 (Nb). São Carlos. Brasil. 2012.

[60] – **Pesquisa em site:** http://www.icz.org.br/portaldagalvanizacao/ index.php - acessado em 09/03/2015 às 15:05.

[61] –Maciel, Carlos Alberto – Ensaios intemperismo acelerados: Uma forma real dos últimos tipos, formas de realização e analises de resultados. Associação Brasileira dos fabricante de tintas (ABRAFATI)- São Paulo, Brasil, 2009.

[62] –Maciel, Carlos Alberto – Ensaios acelerados de corrosão atmosférica – parte 2. Revista C&P- São Paulo, Brasil, 2007.

[63] - Revista Construções metálicas – Edição 72 – São Paulo.