

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

MARCIO LUIZ BUDAL ARINS

MÉTODO ALTERNATIVO DE AVALIAÇÃO PARA INIBIDOR VOLÁTIL DE
CORROSÃO

Proteção de equipamentos metálicos

Joinville
Julho 2022

MARCIO LUIZ BUDAL ARINS

MÉTODO ALTERNATIVO DE AVALIAÇÃO PARA INIBIDOR VOLÁTIL DE
CORROSÃO

Proteção de equipamentos metálicos

Monografia apresentada ao
Curso Engenharia
Mecânica do Câmpus de
Joinville do Instituto Federal
de Santa Catarina para a
obtenção do diploma de
Bacharel em Engenharia
Mecânica

Orientador: Prof. Dr Rubens
Hesse

Joinville
Julho 2022

Arins, Marcio Luiz Budal.

Método alternativo de avaliação para inibidor volátil de corrosão : proteção de equipamentos metálicos / Marcio Luiz Budal Arins. – Joinville, SC, 2022.
56 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Curso de Bacharel em Engenharia Mecânica, Joinville, 2022.

Orientador: Rubens Hesse.

1. Corrosão. 2. Inibidor de corrosão. 3. Proteção anticorrosiva. I. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. II. Título.

MARCIO LUIZ BUDAL ARINS

MÉTODO ALTERNATIVO DE AVALIAÇÃO PARA INIBIDOR VOLÁTIL DE
CORROSÃO

Proteção de equipamentos metálicos

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Joinville, 25 de julho de 2022.

Prof. Rubens Hesse, Dr
Orientador
Instituto Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho à minha esposa
Elismara por ter me acompanhado nesta
jornada e ter me ajudado nos momentos
mais difíceis que passei. Obrigado.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter permitido que eu tivesse saúde e determinação para não desanimar durante a realização deste trabalho.

A minha esposa Elismara e filhos Alex e Victor por todo o apoio e pela ajuda, que muito contribuíram para que eu pudesse manter o foco e a dedicação para finalizar esta etapa da minha vida e o término deste trabalho.

Ao meu pai Palmiro (*in memoriam*) e a minha mãe Marisa que me deram os ensinamentos mais valiosos que procuro transmitir aos meus filhos.

Ao meu professor orientador Rubens Hess pelas valiosas contribuições dadas durante todo o processo e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade.

Aos professores, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional ao longo do curso.

Às pessoas com quem convivi ao longo desses anos de curso, que me incentivaram e que certamente tiveram impacto na minha formação acadêmica.

Aos meus colegas de turma, por compartilharem comigo tantos momentos de descobertas e aprendizado e por todo o companheirismo ao longo deste percurso.

Ao Instituto Federal de Santa Catarina – Campus Joinville, essencial no meu processo de formação profissional, pela dedicação, e por tudo o que aprendi ao longo dos anos do curso.

A imaginação é mais importante que o conhecimento, porque o conhecimento é limitado, ao passo que a imaginação abrange o mundo inteiro. (Albert Einstein)

RESUMO

Estudo de uma metodologia alternativa para avaliar o Inibidor Volátil de Corrosão (VCI) na proteção de equipamentos metálicos suscetíveis à corrosão. Comparando com os inibidores de corrosão convencionais, o VCI supera por proteger toda e qualquer superfície ao formar um filme inibidor composto por moléculas orgânicas fortemente polares repelindo as moléculas de água ligadas ao metal. O método empregado para avaliar a eficiência do VCI foi através de uma câmara sob o efeito de agentes a fim de simular condições extremas. O método comumente utilizado seria o da câmara úmida ou névoa salina, porém o emprego de vapor salino "lavaria" a amostra metálica com VCI, não possibilitando a averiguação de sua eficiência. O objetivo deste estudo é determinar uma metodologia de ensaio que possa ser utilizada em substituição ao ensaio de névoa salina na avaliação de desempenho do inibidor de corrosão do tipo VCI. Para tal foi empregado o VCI da marca NOT RUST, sob a forma de cartão e líquido na proteção à corrosão do aço. Amostras de AISI 1020 aço carbono foram expostas a VCI durante 72 horas e mais 72 horas na câmara sob o efeito do agente corrosivo a fim de avaliação da eficiência de inibição. A eficiência de inibição foi determinada através de um método que simula um ambiente de alta concentração de agente corrosivo.

Palavras-Chave: Corrosão; Inibidor de corrosão; Proteção anticorrosiva.

ABSTRACT

Study of an alternative methodology to evaluate the Volatile Corrosion Inhibitor (VCI) in the protection of metallic equipment susceptible to corrosion. Compared with conventional corrosion inhibitors, VCI excels in protecting any and all surfaces by forming an inhibitory film composed of strongly polar organic molecules, repelling water molecules bound to the metal. The method used to evaluate the efficiency of the VCI was through a chamber under the influence of agents in order to simulate extreme conditions. The method commonly used would be the humid chamber or saline mist, but the use of saline steam would “wash” the metallic sample with VCI, not allowing the verification of its efficiency. The objective of this study is to determine a test methodology that can be used to replace the salt spray test in the performance evaluation of the VCI corrosion inhibitor. For this purpose, NOT RUST brand VCI was used, in the form of cardboard and liquid, to protect the steel from corrosion. Samples of AISI 1020 carbon steel were exposed to VCI for 72 hours and another 72 hours in the chamber under the effect of the corrosive agent in order to evaluate the inhibition efficiency. The inhibition efficiency was determined through a method that simulates an environment of high concentration of corrosive agent.

Keywords: Corrosion; Corrosion inhibitor; Anti-corrosion protection.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 - VCI cartão | 24 |
| Figura 2 - VCI líquido | 24 |
| Figura 3 - Câmara de ensaio..... | 25 |
| Figura 4 - Resistência para queima do PVC | 26 |
| Figura 5 - E1 – Sem VCI ao entrar na câmara de corrosão | 30 |
| Figura 6 - E1 – Sem VCI após 72 horas de exposição ao agente corrosivo | 30 |
| Figura 7 - Experimento 2 com 24 hs | 31 |
| Figura 8 - Experimento 2 com 72 hs | 31 |
| Figura 9 - Sem VCI E3 | 33 |
| Figura 10 – VCI líquido E4 | 34 |
| Figura 11 - VCI cartão E5 | 35 |
| Figura 12 - Experimento 6 com 72 hs | 36 |
| Figura 13 - E6.1 comparado com E6.2..... | 37 |
| Figura 14 - E6.2 comparado com E6.3..... | 37 |
| Figura 15 - E7 início Amostras sobre cartão VCI..... | 39 |
| Figura 16 - E7 após 72 horas..... | 39 |
| Figura 17 - E8 Sem VCI | 40 |
| Figura 18 - E9.1 - Sem VCI | 41 |
| Figura 19 - E9.2 VCI líquido | 42 |
| Figura 20 - E10 Sem VCI | 43 |
| Figura 21 - Experimento 2.1 - Amostra Sem VCI | 47 |
| Figura 22 - Experimento 2.1 - Amostra Sem VCI | 47 |
| Figura 23 - Experimento 2.3-Amostra VCI líquido..... | 47 |
| Figura 24 - Experimento 2.3-Amostra VCI líquido..... | 47 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Experimento 1 - Amostras Sem VCI | 29 |
| Tabela 2 - Experimento 2.1 - Amostras Sem VCI | 30 |
| Tabela 3 - Experimento 2.2 - Amostras VCI cartão | 31 |
| Tabela 4 - Experimento 2.3 - Amostras VCI líquido | 31 |
| Tabela 5 - Experimento 3 - Amostras Sem VCI | 33 |
| Tabela 6 - Experimento 4 - Amostras VCI Líquido..... | 34 |
| Tabela 7 - Experimento 5 - Amostras VCI Cartão..... | 34 |
| Tabela 8 - Experimento 6.1 - Amostras Sem VCI | 35 |
| Tabela 9 - Experimento 6.2 - Amostras VCI cartão | 36 |
| Tabela 10 - Experimento 6.3 - Amostras VCI líquido..... | 36 |
| Tabela 11 - Experimento 7 - Amostras VCI cartão (cartão na câmara abaixo dos corpos de prova) | 38 |
| Tabela 12 - Experimento 8 - Amostras Sem VCI | 39 |
| Tabela 13 - Experimento 9.1 - Amostras sem VCI..... | 41 |
| Tabela 14 - E9.2 – Experimento 9.2 - Amostras com VCI líquido..... | 41 |
| Tabela 15 - Experimento 10 - Amostras sem VCI..... | 43 |
| Tabela 16 - Legenda dos experimentos realizados | 45 |
| Tabela 17 - Valores de massa das amostras..... | 45 |
| Tabela 18 - Perda de massa - g/m^2 | 45 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1 Objetivos | 18 |
| 1.1.1 Objetivo geral | 18 |
| 1.1.2 Objetivo específico | 18 |
| 2 DESENVOLVIMENTO | 19 |
| 2.1 Revisão de literatura | 19 |
| 3 METODOLOGIA | 23 |
| 3.1 Sistematização dos experimentos | 24 |
| 3.1.1 Preparação dos Corpos de Prova | 24 |
| 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS | 28 |
| 4.1 Avaliação dos efeitos em atmosfera formada por 60g hipoclorito de cálcio, 40 ml ácido acético glacial, 150 ml água | 28 |
| 4.2 Avaliação dos efeitos em atmosfera formada por 60g hipoclorito de cálcio | 35 |
| 4.3 Avaliação dos efeitos em atmosfera formada por gases da degradação de policloreto de vinila (PVC) queimado | 40 |
| 4.4 Avaliação dos efeitos em atmosfera formada por Ácido Acético Glacial | 42 |
| 4.5 Comparativo dos experimentos realizados | 44 |
| 5 CONCLUSÃO | 48 |
| 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 48 |
| REFERÊNCIAS | 49 |
| ANEXO A – FICHA TÉCNICA – LDA – LÍQUIDO DESENGRAXANTE ANTICORROSIVO | 54 |

1 INTRODUÇÃO

A oxidação conhecida como “Ferrugem” é um dos efeitos desagradáveis que se observa no ferro e em muitas ligas ferrosas como os aços-carbono quando expostos sem proteção, ou proteção inadequada à atmosfera ou em meios aquosos. Este processo de oxidação acaba de forma inevitável à necessidade de reparação ou substituição do componente confeccionado por estes materiais. Os materiais ferrosos como os aços têm sua utilização mais frequente na forma de chapas, placas, barras e tubos, tanto pela indústria metalomecânica quanto da construção civil. Este efeito de ferrugem é o que resulta na corrosão (SILVA et al., 2014).

As reações de corrosão são reações de oxi-redução “redox” espontâneas em que um metal exposto a alguma substância em seu ambiente, produz um composto não-desejado. A oxidação é um processo gerado pelas condições favoráveis do ar à temperatura ambiente. Quando o processo de oxidação não é controlado ele pode ser muito destrutivo (BROWN; LEMAY; BURSTEN; BURDGE, 2005).

A corrosão é definida como a deterioração de um metal ou liga, a partir de sua superfície, pelo meio no qual está inserido. O processo envolve reações de oxidação e de redução que convertem o metal ou componente metálico em óxido, hidróxido ou sal. Os aços-carbono comuns contêm mais de 97% de Fe, até 2% de C e outros elementos remanescentes do processo de fabricação. (ABNT, 2000)

O ar constitui o meio no qual os materiais estão mais frequentemente expostos e a oxidação do Fe(s) ocorre porque este elemento é termodinamicamente instável na presença de O₂ (BROWN; LEMAY; BURSTEN; BURDGE, 2005).

O O₂ e H₂O presente na atmosfera torna o meio mais agressivo reagindo com os aços-carbono formando uma camada porosa de produtos de corrosão conhecida como ferrugem formada principalmente por uma mistura de diferentes fases de FeOOH e de acordo com as condições climáticas e o teor de poluentes (SO₂, NO₂, etc.) (ABNT, 2001).

A reação de formação destes oxi-hidróxidos, hidróxidos e sais básicos, requer a presença de água, assim, a umidade relativa do ar cumpre uma função importante na formação e crescimento da camada de ferrugem.

O aço carbono é uma liga metálica formada principalmente de ferro e carbono utilizado em larga escala na composição de estruturas, na confecção de tubulações industriais e de utensílios domésticos. Inibidores para prevenir a corrosão de aços

carbono é muitas vezes a opção mais econômica, porém esta inibição só é alcançável com uma compreensão detalhada dos mecanismos de corrosão do aço carbono para em seus diferentes ambientes corrosivos. (DWIVEDI; LEPKOVA; BECKER, 2017).

Várias são as maneiras de prevenir a corrosão com o objetivo de melhorar a vida útil de materiais metálicos e ligas. A utilização de inibidores para o controle da corrosão de metais e ligas que entram em contato com ambientes agressivos é uma das práticas aceitáveis utilizadas para reduzir e / ou prevenir a corrosão (BUCHWEISHAIJA, 2009).

Segundo Ruy V. (2020) a corrosão é um problema em todo o mundo afetando os ambientes naturais e industriais sendo necessário desenvolver e aplicar métodos e técnicas de controle de engenharia de corrosão. A biocorrosão e a biodeterioração de materiais metálicos e não metálicos são dois processos causadores de problemas à infraestrutura de sistemas industriais. Conforme Ruy V. (2020) ainda afirma que os microrganismos não deterioram ou corroem diretamente os metais, porém modificam as condições da interface material e ambiente proporcionando a deterioração e assim induz e influencia o processo de desenvolvimento. No metal a biocorrosão ocorre graças a processos eletroquímicos e de agentes biológicos devido à ação de microrganismos e/ou bactérias existentes no sistema. Prevenir estes efeitos através do conhecimento desses processos biológicos é uma busca constante.

Do ponto de vista econômico, os prejuízos causados atingem custos altos e desperdícios de investimento, além de possibilidades de acidentes e perdas de vidas humanas por falta de segurança dos equipamentos (CORROSÃO, 2003).

Sobre o custo da corrosão podemos afirmar que:

“Segundo levantamento, cerca de 30% da produção mundial de ferro e aço é perdida com a corrosão – e os custos correspondem de 1 a 5% do PIB dos países. Em 2019, por exemplo, o Brasil teve um gasto equivalente a 4% do PIB (R\$ 290 bilhões) com manutenção da corrosão” (BMS, 2020).

O custo de um novo material para substituir o danificado por corrosão é de 20 a 50 vezes mais alto, o que inviabiliza a reposição. No intuito de minimizar esses custos ou mesmo evitar a reposição é possível a utilização de meios anticorrosivos ou inibidores de corrosão (CORROSÃO, 2003).

Muitos agentes inibidores utilizados são compostos orgânicos. Os inibidores de corrosão químicos podem ser poluidores e estudos estão demonstrando a

eficiência de extratos de plantas ou materiais biodegradáveis para realizar a mesma função de proteção (ROCHA, 2017).

Durante a Segunda Guerra Mundial a necessidade de proteção dos equipamentos militares e peças de reposição contra a corrosão durante o armazenamento em diferentes condições climáticas eram inadequados, pois eram usados óleos lubrificantes como barreira contra a corrosão e apresentavam baixa eficiência na proteção, além da insalubridade dos solventes e custos para remover os óleos antes do equipamento entrarem em serviço. Por esta razão, foi necessário desenvolver novos métodos de embalagens e produtos de proteção contra a corrosão. A inibição com os nitritos de amina abriu um caminho completamente novo para atacar os problemas de embalagem (BAKER, 1952).

Os inibidores VCI estão em uso desde a década de 1940, quando a Shell Oil Company desenvolveu e patenteou o DICHAN (Nitrito de Diciclohexilamônio). DICHAN foi usado após a Segunda Guerra Mundial para proteger o equipamento militar dos EUA. O VCI (Volatile Corrosion Inhibitor / Inibidor Volátil de Corrosão) surgiu como uma grande solução anticorrosiva por criar uma camada invisível de proteção contra ferrugem e corrosão, sem a necessidade de óleos ou graxas à base de petróleo (SIEFERT, 2021).

Conforme Siefert (2021) durante as décadas de 50 e 60 a preocupação com saúde e segurança surgiram ao se usar o DICHAN e assim na década de 1970 foi considerado cancerígeno e foi banido para quase todas as aplicações. Ao contato com embalagens se transformam em nitrosaminas passíveis de serem inaladas. As nitrosaminas são cancerígenas e causam câncer de fígado, bexiga e estômago.

O VCIs como inibidor de corrosão é empregado a muito tempo, no entanto a ação de seus compostos não está completamente esclarecido. Suspeita-se que os principais parâmetros responsáveis por sua eficiência sejam as pressões de vapor e as interações com a superfície do metal. Os VCIs possuem propriedades anticorrosivos, que inibem a superfície metálica por volatilização dentro de um espaço fechado. Muitas vezes são apresentadas explicações muito simplificadas de sua atuação anticorrosiva como sendo a superfície externa do metal composta de um óxido metálico bastante uniforme onde o VCI então se liga ao óxido por meio de ligações químicas fracas e forma uma monocamada adsorvida para proteger esse óxido (ZHANG, 2006).

Genovez, Hrdina e Schultz (2012) expõe que a corrosão inicia por efeito da umidade, que contém o eletrólito, ao condensar na superfície do metal, levando a um fluxo de elétrons entre a superfície do metal e o eletrólito onde as moléculas de VCI não impedem a deposição do eletrólito, porém direciona o fluxo de corrente existente no sentido satisfatório para que não exista oxidação do metal.

“O VCI se dissocia em carga positiva e negativa, utilizando a própria água do meio e adsorvem na superfície do metal. Dependendo do metal e do sistema inibidor, a camada fina formada impede fisicamente o contato do eletrólito com o metal.

Em outras palavras, o sal orgânico (VCI) sublima por convecção e difusão atingindo a superfície metálica embalada, formando uma ‘barreira química’ protetora. Esta barreira impede qualquer reação de oxidação do metal, protegendo-o contra corrosão. O vapor não deixa qualquer resíduo ou película sobre os metais, evitando os dispendiosos, demorados, insalubres e poluentes métodos de aplicação e remoção dos protetivos graxos e oleosos convencionais.” (GENOVEZ; HRDINA; SCHULTZ, 2012)

Cheng et al. (2016) comenta sobre o uso do VCI na proteção de equipamentos militares que são expostos em condições extremas em climas de alta umidade e pela diversidade de materiais utilizados na construção destes equipamentos exigem produtos VCI de qualidade especial para protegê-los da corrosão. Os campos de combate das guerras modernas, estão localizados em regiões diversas e severas: tropical, desértica, ártica, marinha e urbana, com condições climáticas variadas que afetam negativamente a resistência à corrosão dos equipamentos, armas e veículos empregados. Afirma ainda que a menor ocorrência de corrosão em armas e outros equipamentos pode causar alterações em seu desempenho técnico, afetar sua confiabilidade e resultar em perda de vidas em tempos de guerra. Os VCIs não afetam significativamente a saúde humana ou a prontidão para o combate.

ASM International Handbook Committee (2006) expõe que o Exército Americano apesar das boas práticas, o tipo de corrosão mais comum durante o armazenamento é a corrosão geral, causada por proteção anticorrosiva falha ou inexistente.

O VCI, é utilizado nas indústrias, principalmente na área de exportação e estoque de metais. Foi desenvolvido soluções para proteção de armas, lâminas, ferramentas e peças metálicas que sofrem corrosão (PERES, 2020).

A pesquisa e o desenvolvimento de inibidores de corrosão para promover a segurança no emprego de armamento por forças militares ou uso civil tem se mostrado um assunto importante nos últimos anos.

Rocha (2013) em sua tese de doutorado investigou a utilização de extratos naturais obtidos de subprodutos domésticos/industriais como inibidores de corrosão em meio ácido e neutro.

Rosa (2009) ao estudar inibidores voláteis de corrosão (VCI) utilizados na proteção do aço Galvannealed (aço laminado a frio revestido com Zn para produzir uma liga Zn-Fe) utilizado na indústria automobilística, constatou que os resultados obtidos nos testes eletroquímicos provém da instabilidade do sistema pois o VCI é volátil, motivo pelo qual sugere o método da câmara úmida para a avaliação da eficiência dos VCI.

Em estudos comparativos para avaliar a eficiência do VCI em meios aquosos ácidos ou NaCl, empregando VCI de aminas, ácidos carboxílicos e seus respectivos sais conclui-se que o mecanismo de proteção dos VCI pode ocorrer por adsorção física saturado na atmosfera com variações de pH resultante da atmosfera. As aminas CHA e DCHA combinada com os sais de VCI podem prolongar a eficiência do VCI, devido à rápida saturação das aminas (JUNIOR, 2018).

A preocupação na prevenção a corrosão pode ser verificada conforme Headquarters Department (2020) onde o Exército Americano estabelece novas políticas para implementar e gerenciar prevenção e controle eficazes de corrosão para manutenção de todo o material e componentes do Exército. Visa garantir o desempenho sustentado, prontidão, operação econômica e vida útil dos sistemas e equipamentos do Exército ao longo de seu ciclo de vida. Distribui responsabilidades nesta política de prevenção à corrosão em todos os níveis de comando, e em seu capítulo 3 a implementação através dos meios e métodos para a excelência do processo.

A norma ISO 9227 (2017) especifica testes de névoa salina para três métodos em relação ao agente corrosivo, testes de névoa salina neutra, névoa salina de ácido acético e névoa salina de ácido acético acelerado por cobre. Para cada tipo, relaciona os parâmetros de avaliação com os tipos de testes que se busca estudar.

A norma National Association of Corrosion Engineers (NACE TM0208-2013) propõe que a avaliação do VCI seja realizada de forma reprodutível com aparelhos relativamente simples e de baixo custo. Este método de teste padrão destina-se ao uso por fabricantes e usuários de materiais VCI. Usado para testes básicos de qualificação de aprovação ou reprovação por laboratórios de produção, garantia de

qualidade, a fim de determinar a proteção do VCI em superfícies de metal ferroso contra corrosão (NACE, 2013).

Conforme a norma ASTM B 117-O3 o equipamento necessário para exposição à névoa salina consiste em uma câmara de neblina, um reservatório de solução salina, um suprimento de ar comprimido adequadamente condicionado, um ou mais bicos pulverizadores, suportes de amostra, sistema de aquecimento da câmara e meios de controle necessários. A norma ainda ressalta que o tamanho e a construção detalhada do aparelho são opcionais, desde que as condições obtidas atendam aos requisitos desta prática (ASTM, 2003).

A norma ABNT NBR 8094 trata sobre o método para execução de ensaios à névoa salina de materiais metálicos. Esta norma não especifica o tipo de corpo-de-prova a ser utilizado, tampouco o critério de avaliação dos resultados. É composta de uma câmara de ensaio com capacidade mínima de 0,4 m³, um reservatório de para a solução, sistema de ar comprimido, de um ou mais bicos pulverizadores, suportes de corpos-de-prova, um meio de aquecimento da câmara e meios para o controle das condições (ABNT, 1983).

Pimenta e Goulart-Santos (2016) referem-se ao teste da névoa salina como o mais antigo, utilizado desde 1914 e padronizado pela American Society for Testing and Materials (ASTM) em 1939. A norma ASTM B117 consiste na pulverização contínua, sobre as amostras a serem avaliadas, em uma câmara a 35 °C, de uma solução de cloreto de sódio (NaCl). Esse teste, frequentemente, não demonstra os efeitos reais durante a vida em serviço de um equipamento ou estrutura. No transcorrer dos tempos foram realizadas adequações e apresentados em outras normas, no entanto o teste ASTM B117 é amplamente usado como referência para especificações e propaganda de produtos.

Devido a necessidade de proteção de materiais metálicos nas diversas utilizações justifica a busca constante de um inibidor eficiente, de baixo custo e não prejudicial à saúde humana e ao meio ambiente.

Assim este trabalho visa avaliar o emprego de um inibidor de corrosão orgânico, o VCI conhecido como "inibidor de corrosão volátil", "inibidor de corrosão de vapor" ou "Inibidor de corrosão de fase de vapor", uma alternativa tecnológica na proteção de materiais metálicos sujeitos à corrosão.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é determinar uma metodologia de ensaio alternativo que possa ser utilizado na avaliação de métodos de proteção a corrosão quando o agente inibidor for solúvel no meio normalmente utilizado para avaliação e normalizado pela norma ISO 9227 (2017) ou seja, método de ensaio névoa salina.

1.1.2 Objetivo específico

Realizar o estudo de um método alternativo a fim de estudar as características do inibidor de corrosão VCI da marca NOT RUST;

Descrever os efeitos da corrosão nos materiais sem a proteção do VCI e nos materiais protegidos com VCI, em contato com substâncias e meios que proporcionem a corrosão a fim de avaliar a eficiência do método alternativo proposto neste trabalho; e

Avaliar o desempenho de um ensaio utilizando como meio corrosivo o gás do cloro com relação a proteção oferecido pelo inibidor de corrosão da empresa NOT RUST, com base na norma ISO 9227 (2017).

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão de literatura

A superfície dos metais, principalmente dos aços carbono, necessitam de proteção do contato com a atmosfera. Não sendo possível este procedimento, há a necessidade de um procedimento alternativo que dificulte o progresso da reação anódica ou catódica, diminuindo assim a velocidade da reação de corrosão. Os métodos mais comuns de proteção são mediante a cobertura da superfície com um revestimento metálico, inorgânico, orgânico ou superposição destes com a finalidade de isolar o material do meio (GENTIL, 2011).

Segundo Buchweishaija (2009) os inibidores de corrosão se dividem em duas categorias, aquelas que aumentam a formação de uma película protetora de óxido através de um efeito oxidante e aqueles que inibem a corrosão por adsorção na superfície do metal criando uma barreira impeditiva dos agentes corrosivos na superfície do metal.

Estudos de alguns compostos orgânicos revelou que quase todas as moléculas orgânicas contendo heteroátomos, como nitrogênio, enxofre, fósforo e oxigênio mostram uma eficiência de inibição significativa porém são caras e tóxicas não biodegradáveis, causando problemas de poluição. Essas deficiências motivaram a busca por sua substituição. Compostos que muitas vezes são extraídos de plantas estão sendo usados em aplicações como inibidores de corrosão para metais e ligas em diferentes ambientes, por causa de sua relação custo-benefício, disponibilidade abundante e, mais importante, sua aceitabilidade ambiental. (BUCHWEISHAIJA, 2009).

De acordo com Modesto (2008) as substâncias orgânicas que agem como inibidores de corrosão possuem grupos fortemente polares e agem através de sua absorção na superfície metálica. O VCI demonstra sua eficiência pelo fato da força de atração entre o inibidor e a superfície do metal é maior que a força entre as moléculas de água e o metal. Os inibidores orgânicos compõem um grande grupo de substâncias que agem na proteção a corrosão para o ferro e suas ligas, destacando as aminas alifáticas e aromáticas compostas de base de nitrogênio, tiouréia e seus derivados (apud NARDI, 1993) (apud GUEDES, 1996).

Romualdo (2012) faz referência a compostos, entre eles a aminas, que funcionam como películas protetoras por inibição de absorção. Moléculas orgânicas fortemente polares que dão lugar a formação de películas por adsorção. Aminas removem as moléculas de água ligadas ao metal formando um filme inibidor.

Gentil (2011) coloca que os inibidores de adsorção funcionam como filmes protetores na superfície do metal sendo que certas substâncias possuem a capacidade de formar filmes nas regiões do anodo e do catodo, influenciando na ação eletroquímica.

Garcia (2013) expõe que a atuação das aminas como inibidores de corrosão está associada ao mecanismo de adsorção, seu poder de inibir aumenta com o impedimento espacial que sua estrutura proporciona ao ligar-se na superfície do metal.

O VCI (Volatile Corrosion Inhibitor / Inibidor Volátil de Corrosão), é utilizado nas indústrias, principalmente na área de exportação e estoque de metais. Foi desenvolvido como solução para proteção de armas, lâminas, ferramentas e peças metálicas que sofrem corrosão (PERES, 2020).

A metodologia de teste mais usada para a avaliação da eficiência de um método de proteção contra a corrosão e regulamentado por normas nacionais e internacionais é o ensaio de névoa salina (salt spray). O teste de névoa salina consiste em pulverizar água salgada de forma contínua a uma temperatura constante de 35°C dentro da câmara. O equipamento consiste em uma câmara de neblina, um reservatório de solução salina, um suprimento de ar comprimido, um ou mais bicos pulverizadores, suportes para as amostras, dispositivo para aquecimento da câmara e meios de controle necessários. O tamanho e a construção detalhada do aparelho são opcionais, desde que as condições obtidas atendam aos requisitos desta prática. Os períodos de exposição recomendados devem ser os acertados entre os interessados com a pesquisa, no entanto, recomenda-se períodos de exposição múltiplos de 24 h (ASTM, 2003).

A norma ABNT NBR 8094 segue com os mesmos métodos da ASTM B 117 – 03, inclusive fazendo referência na escolha correta do sal quanto a composição química, a água devendo ser destilada ou desmineralizada, e o pH da solução de cloreto de sódio ajustado na faixa de 6,5 a 7,2 (ABNT, 1983).

A norma ISO 9227 (2017) prevê os parâmetros para que o teste em câmara de névoa salina seja considerado satisfatório, com a perda de massa em torno de

70±20 gramas por metro quadrado do corpo de prova avaliado. O cálculo para isto, conforme a norma, é dividir a perda de massa determinada, com aproximação de 1 mg, pela área da superfície exposta por metro quadrado. Esta avaliação é feita a fim de verificar a eficiência da câmara onde serão realizados os testes de corrosão.

Peres (2020) especifica o VCI como um inibidor de nanotecnologia formado por sais orgânicos e álcoois de baixo peso molecular, para aplicação em diferentes materiais e usos. Promove a proteção dos metais a corrosão em nível molecular sem deixar resíduos nos seus equipamentos e assim não interferindo no desempenho e não sendo necessário a sua remoção antes de qualquer processo.

Acauan e Scienza (2014) em seu estudo sobre a ação do VCI líquido e do plástico com VCI constatou a eficiência na forma líquida superior a 77%, utilizando o processo de uma câmara úmida onde os corpos de prova (aço AISI 1020 - com 35mm de diâmetro e 15mm de espessura) são mantidos suspensos, em recipientes de vidro (500ml), com uma pequena quantidade de água destilada (25ml) em seu interior, permanecendo por um período de 18 dias.

Rosa (2009) ao concluir seu estudo verificou que os ensaios em meio aquoso não apresentaram boa distinção entre os resultados para amostras com e sem inibidor. Avalia que a explicação pode estar relacionada à instabilidade do sistema, pois o VCI sendo volátil se difunde para o ambiente durante o manuseio da amostra e o restante se solubiliza com o tempo de imersão no eletrólito, dificultando a reprodutibilidade dos dados.

Ribeiro et al. (2015) em seu trabalho, seguindo a norma NACE TM0208, apresentou como conclusões que o VCI se mostrou eficiente quanto à sua capacidade de inibição no espaço vapor e em ensaios de imersão parcial em solução salina (NaCl) com adição de VCI mostrando-se adequado para conferir proteção tanto à parte imersa como à parte emersa (espaço vapor).

Valente Júnior (2018), demonstrou em sua pesquisa que a proteção do VCI no aço pode ocorrer por adsorção física do VCI saturado na atmosfera, podendo modificar a camada de óxido primário devido às variações de pH causado pela atmosfera do inibidor.

A eficiência do inibidor depende do tipo de metal/liga, do tipo de ambiente, isolamento do local onde o material metálico está armazenado, concentração e flutuações de temperatura. Testes mostraram que os VCIs são adequados e eficientes no controle da corrosão atmosférica em sistemas fechados. Como a

eficiência do VCI não é universal, sugere-se testes e triagem específicos (VASANTH, 1997).

Conforme está descrito no Anexo – A, o VCI em estudo é isento de amins livres, sulfato, nitrato, fosfatos e metais pesados. É altamente solúvel em água. Aplicado nas indústrias de beneficiamento de metais. O VCI tem a ação de se depositar sobre a superfície metálica formando uma fina película não oleosa, que diminui a densidade de corrente de elétrons entre o metal e os eletrólitos presentes na atmosfera, garantindo a proteção das superfícies.

Pericoli (2018) em seu trabalho científico avaliou os efeitos do Hipoclorito de cálcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) como agente corrosivo em aço 1020 revestido com anticorrosivos. No teste de perda de massa, do aço com e sem a utilização de anticorrosivos constatou a perda de até 3,57% de massa nos corpos de prova sem proteção e nas amostras protegidas uma média de 1,58% de perda de massa utilizando os métodos de proteção por pintura com primer, tinta esmalte e tinta epóxi.

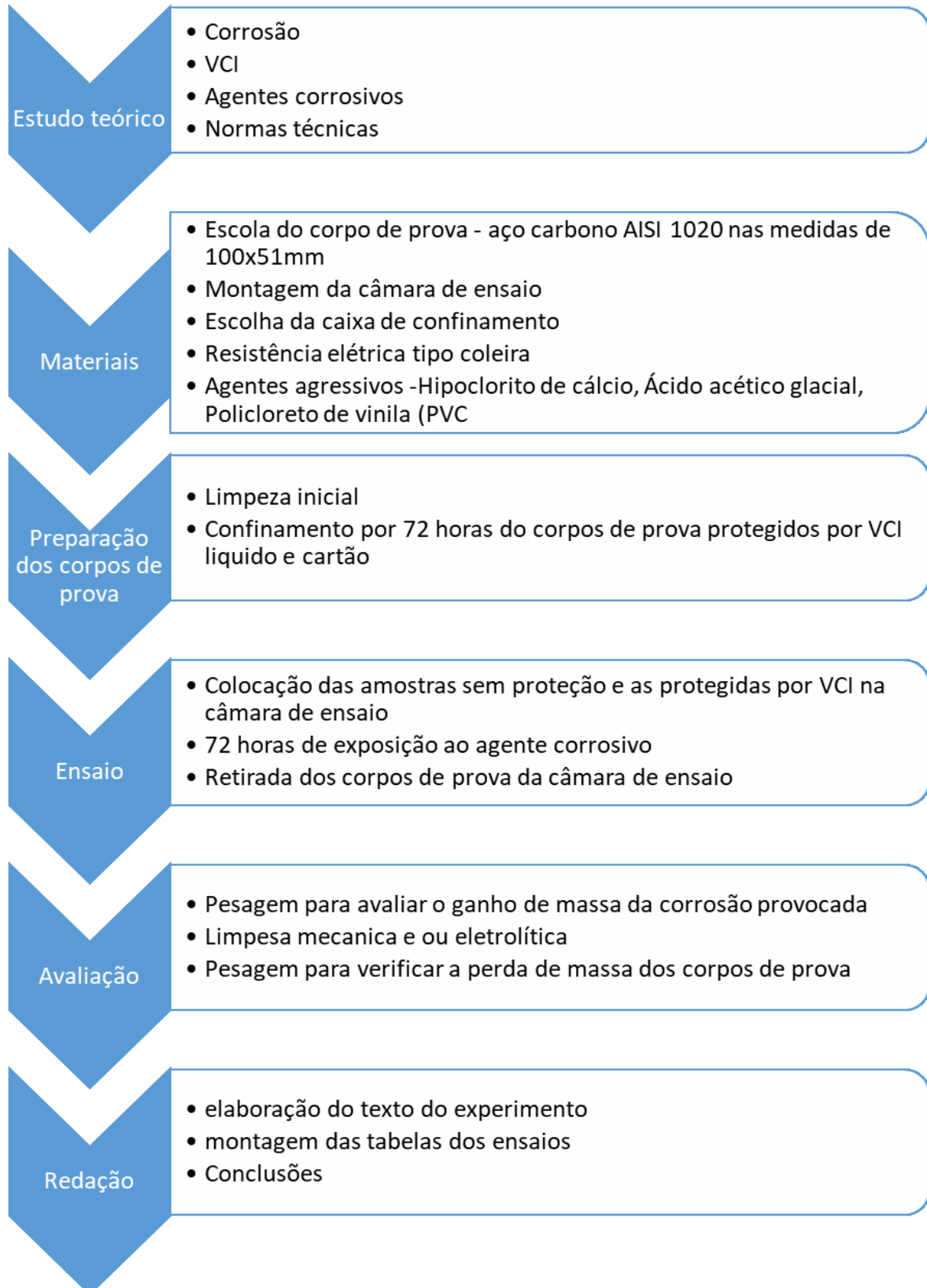
Em sua tese de mestrado, Ferreira (2015), cita os efeitos da degradação do cloro em quase todos os produtos com os quais entra em contato. Isto provoca a corrosão acelerada ao contato com a água mesmo nos materiais que na teoria seriam resistentes em meios agressivos.

Cloreto de polivinila (PVC) apesar de não propagar chama, tem em sua combustão a emissão de grande quantidade de fumaça composta de gases corrosivos e tóxicos (MORENO et al.,2011).

O risco de corrosão quando o PVC queima é devido a mistura gasosa contendo cloreto de hidrogênio. O cloreto de hidrogênio forma ácido clorídrico quando em contato com a água, que é corrosiva (IKEM, 2019).

3 METODOLOGIA

A elaboração do trabalho seguiu a metodologia que a seguir se descreve:



3.1 Sistematização dos experimentos

A norma NACE TM0208-2013 prevê o teste de eficiência com a amostra metálica tendo contato com vapor de VCI ou contato com uma solução de água e uma porcentagem de VCI líquido. Porém, pelo motivo do VCI ser altamente solúvel em água, busca-se neste experimento um método alternativo de avaliação dos parâmetros de proteção sem que os corpos de prova, protegidos por VCI, tenham contato com águas, evitando a remoção do filme protetor de VCI inicialmente aplicado no metal em estudo.

3.1.1 Preparação dos Corpos de Prova

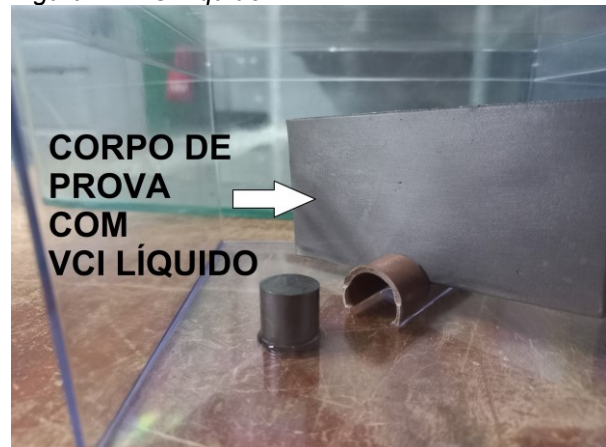
Como corpo de prova para as avaliações foi utilizado chapas metálicas de aço 1020, medindo por volta de 51x100mm e espessura de 1,5mm. Estas passaram por um processo de limpeza por remoção mecânica utilizando um motoesmeril com escova de aço para a remoção total de qualquer sujeira ou pontos de ferrugem.

Após a etapa de limpeza os corpos de prova foram mensurados e tiveram suas massas iniciais anotadas. Vale salientar que a resolução do sistema de medição ficou limitado a 0,1g.

Figura 1 - VCI cartão



Figura 2 - VCI líquido



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

As amostras designadas ao teste sob a proteção do VCI ficaram durante 72 horas armazenadas em um ambiente confinado de acrílico com dimensões 140x140x80mm, como mostram as figuras 1 e 2. Este tempo de 72 horas nos quais os corpos de prova ficaram confinados na presença do agente inibidor teve como propósito a consolidação do filme protetivo na superfície dos mesmos. Os corpos de

prova não protegidos pelo VCI eram expostos ao agente corrosivo sem a necessidade de aguardar as 72 horas, pois tinham a finalidade de serem o parâmetro de comparação em relação à eficiência do sistema de proteção nos corpos de prova que tiveram o contato com o VCI.

A câmara de ensaio com dimensões 350x570x400mm era constituída de vidro e podia ser isolada do ambiente externo através de uma tampa, também de vidro. Internamente havia uma saliência a meia altura onde os corpos de provas eram dispostos durante o período de ensaio conforme pode ser observado na figura 3.

Figura 3 - Câmara de ensaio



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Os corpos de prova passaram 72 horas dentro da câmara de corrosão sob o efeito do agente corrosivo.

Como agente corrosivo optou-se em utilizar o hipoclorito de cálcio na forma granulada com uma concentração de 60% de Cl. Foi utilizado o hipoclorito de cálcio do fabricante Buschle & Lepper SA. Esta fonte de cloro era acondicionada no interior da câmara de vidro em um recipiente plástico. De início, pois não houve referência com relação a quantidade a utilizar, arbitrou-se em aplicar 60g de hipoclorito de cálcio como ponto de partida.

Visando acelerar a liberação do agente corrosivo foi adicionado inicialmente 150ml de água e 40ml de ácido acético glacial.

Uma segunda fonte de geração de cloro foi obtida pela depreação do policloreto de vinila (PVC). Para a degradação do mesmo foi confeccionado em alumínio um cadinho com as dimensões de 35x40mm no qual pedaços de PVC foram aquecidos até a degradação. O aquecimento foi obtido através de um elemento de aquecimento do tipo coleira, figura 4, com uma potência de 200W (230V). Esta envolvia o cadinho e ambos eram posicionados no interior da câmara de ensaio. O cabo de alimentação entrava na câmara em um rebaixo junto a tampa de forma que não prejudicava a vedação do conjunto.

Figura 4 - Resistência para queima do PVC



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Com base no descrito na norma ISO 9227, onde consta a utilização de névoa contendo ácido acético, optou-se ainda em utilizar o ácido acético como fonte corrosiva. Para tal o ácido foi vaporizado no interior da câmara de ensaio utilizando como fonte de aquecimento para a vaporização o mesmo conjunto utilizado para degradação do PVC.

Ao final do período de permanência no interior da câmara de ensaio os corpos de prova foram pesados com o intuito de avaliar possível alteração na massa, ocorrida no período em decorrência da exposição ao meio agressivo ao qual estavam expostos. Em seguida eram limpas, removendo o material produzido pela corrosão, e assim, novamente foi realizada a pesagem para verificar a possível perda de massa.

Em virtude da resolução do sistema de medição ser de "0,1g", todos os valores obtidos como área, perda de massa pela área, bem como os resultados

obtidos com base nos dados da massa dos corpos de prova quer antes ou após o processo de ensaio, também foram considerados apenas em uma casa decimal.

Como método de limpeza foi utilizado a remoção mecânica pela utilização de escova de aço ou na impossibilidade da total remoção por meios mecânicos empregou-se a limpeza por meio eletrolítico. Para isto empregou-se uma fonte de 12V / 5A e solução de hidróxido de sódio (NaOH) como meio eletrolítico. Os corpos de prova permaneceram neste meio por 15min e na sequência foram secos para posterior pesagem.

As substâncias utilizadas como agente corrosivo foram o hipoclorito de cálcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$), ácido acético glacial ($\text{C}_2 \text{H}_4 \text{O}_2$) e cloreto de hidrogênio (HCl).

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos para as variantes de ensaio de corrosão avaliados.

Como referência para avaliação dos resultados foi tomado por base a recomendação norma ISO 9227 uma vez que não há uma norma específica para avaliação do efeito corrosivo em sistemas metálicos tratados com VCI. Segundo a norma mencionada, a perda de massa por unidade de área é considerada satisfatória quando permanece entre os valores de 70 ± 20 gramas por metro quadrado, assim sendo será seguido este parâmetro para o método alternativo proposto neste trabalho. As amostras sem proteção de VCI deverão estar com os valores de perda de massa na faixa sugerida pela norma ISO 9227 para que se tenha a certeza da eficácia do método proposto e assim seguir para avaliar a proteção do VCI no estado líquido e em cartão.

Para o cálculo da área ensaiada foram considerados os dois lados dos corpos de prova com dimensões de 100x50mm e desconsiderando as áreas laterais dos mesmos, uma vez que não se percebeu um ataque significativo nestas superfícies. Para isto usou-se a equação abaixo da norma ISO 9227(2017):

$$\text{Faixa Permitida de Perda de Massa (FPPM)} = \frac{(\text{Massa Início (MI)} - \text{Massa Limpa (ML)})}{\text{Área}_{\text{Total}} (A_T)} \quad (1)$$

A equação anterior proporciona a avaliação do FPPM dos corpos de prova nas dimensões de 100x50mm gerando o resultado em g/m² seguindo a norma ISO 9227.

4.1 Avaliação dos efeitos em atmosfera formada por 60g hipoclorito de cálcio, 40 ml ácido acético glacial, 150 ml água

O hipoclorito de cálcio em contato com a água se decompõe liberando oxigênio e cloro. Somou-se o ácido acético a solução para proporcionar um ambiente ainda mais agressivo.

O primeiro experimento realizado visava avaliar a viabilidade do ensaio comparativamente ao exposto pela norma ISO 9227. Desta forma, neste primeiro

experimento foram avaliados apenas corpos de provas sem qualquer tipo de tratamento anticorrosivo.

A tabela 1 apresenta os resultados obtidos para os quatro corpos de provas avaliados e as figuras 5 e 6 ilustram os efeitos gerados nas chapas metálicas apresentando um comparativo visual dos efeitos corrosivos do composto em um período de 72 horas de exposição.

Nesta situação inicial foi observado uma perda de massa média de 0,9g durante a permanência dos corpos de prova no interior da câmara de ensaio, e ao se calcular a Faixa Permitida de Perda de Massa (FPPM) eq. (1) observou-se uma perda 87,9g/m². Segundo teste normalizado na condição sem tratamento se espera uma perda de massa entre 50 e 90g/m². Comparativamente a perda de massa obtida encontra-se dentro deste intervalo, sugerindo um caminho viável a ser seguido.

Uma vez que se observa viabilidade a utilização deste método de ensaio foi realizado um segundo experimento, agora expondo a ação de agente corrosivo três grupos distintos de amostras: 03 chapas metálicas sem proteção de VCI, 03 chapas protegidas pelo filme de VCI líquido após as 72 horas na caixa de acrílico, e 3 amostras metálicas após o tempo de 72 horas expostas ao cartão de VCI na caixa de confinamento.

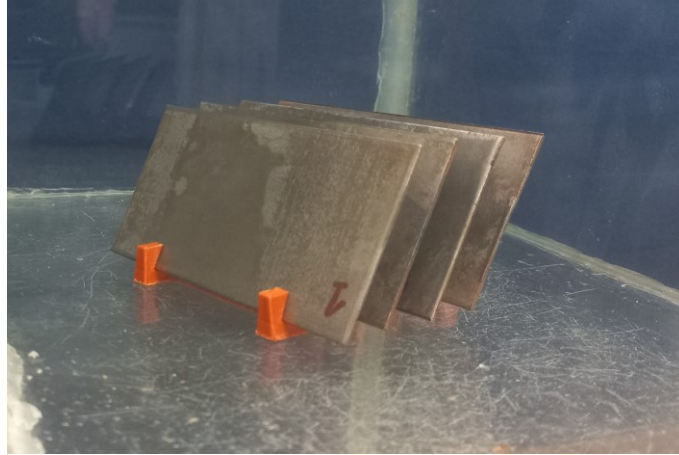
Tabela 1- Experimento 1 - Amostras Sem VCI

| E1 – Experimento 1 - Amostras Sem VCI | | | | |
|---|----------------------------|---------------------------|-------------|----------------|
| 60g hipoclorito de cálcio, 40 ml ácido acético glacial, 150 ml água | | Massa – Data início e fim | | |
| | | 13/04/2022 | 16/04/2022 | |
| Nr Amostra | Área (A) [m ²] | Início (MI) [g] | Oxidada [g] | Limpa (ML) [g] |
| 1 | 0,0051153 | 58,1 | 60,8 | 57,3 |
| 2 | 0,00511048 | 58,1 | 60,5 | 57,1 |
| 3 | 0,0051306 | 58,8 | 61,6 | 58,2 |
| 4 | 0,0051255 | 59,3 | 61,8 | 58,3 |
| Média | 0,00512047 | 58,6 | 61,2 | 57,7 |

| | | | |
|------|-------------------|---|-----------------------|
| FPPM | $(MI - ML) / A_T$ | $(58,6 - 57,7) / (2 \times 0,00512047)$ | 87,9 g/m ² |
|------|-------------------|---|-----------------------|

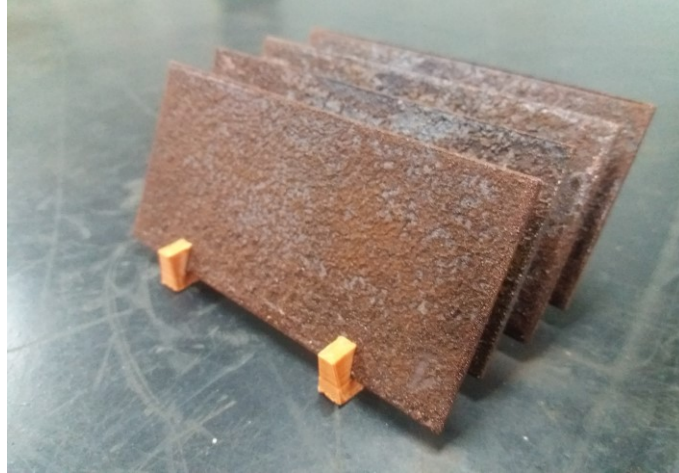
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 5 - E1 – Sem VCI ao entrar na câmara de corrosão



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 6 - E1 – Sem VCI após 72 horas de exposição ao agente corrosivo



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 2 - Experimento 2.1 - Amostras Sem VCI

| E2.1 – Experimento 2.1 - Amostras Sem VCI | | | | |
|---|----------------------------|---------------------------|-------------|----------------|
| 60g hipoclorito de cálcio, 40 ml ácido acético glacial, 150 ml água | | Massa – Data início e fim | | |
| | | 20/04/2022 | 23/04/2022 | |
| Nr Amostra | Área (A) [m ²] | Início (MI) [g] | Oxidada [g] | Limpa (ML) [g] |
| 1 | 0,00508014 | 58,8 | 59,2 | 57,9 |
| 2 | 0,00507012 | 58,2 | 58,6 | 57,3 |
| 3 | 0,00506506 | 58,4 | 58,9 | 57,5 |
| Média | 0,005071773 | 58,5 | 58,9 | 57,6 |

| | | | |
|------|-------------------|--|-----------------------|
| FPPM | $(MI - ML) / A_T$ | $(58,5 - 57,6) / (2 \times 0,005071773)$ | 88,7 g/m ² |
|------|-------------------|--|-----------------------|

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 3 - Experimento 2.2 - Amostras VCI cartão

| E2.2 – Experimento 2.2 - Amostras VCI cartão | | | | |
|---|----------------------------|---------------------------|-------------|----------------|
| 60g hipoclorito de cálcio, 40 ml ácido acético glacial, 150 ml água | | Massa – Data início e fim | | |
| | | 20/04/2022 | 23/04/2022 | |
| Nr Amostra | Área (A) [m ²] | Início (MI) [g] | Oxidada [g] | Limpa (ML) [g] |
| 1 | 0,00509524 | 58,9 | 59,5 | 57,4 |
| 2 | 0,00504006 | 57,7 | 58,0 | 57,0 |
| 3 | 0,00508024 | 58,2 | 58,7 | 58,0 |
| Média | 0,005071847 | 58,3 | 58,7 | 57,5 |

| | | | |
|------|-------------------|--|-----------------------|
| FPPM | $(MI - ML) / A_T$ | $(58,3 - 57,5) / (2 \times 0,005071847)$ | 78,9 g/m ² |
|------|-------------------|--|-----------------------|

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 4 - Experimento 2.3 - Amostras VCI líquido

| E2.3 – Experimento 2.3 - Amostras VCI líquido | | | | |
|---|----------------------------|---------------------------|-------------|----------------|
| 60g hipoclorito de cálcio, 40 ml ácido acético glacial, 150 ml água | | Massa – Data início e fim | | |
| | | 20/04/2022 | 23/04/2022 | |
| Nr Amostra | Área (A) [m ²] | Início (MI) [g] | Oxidada [g] | Limpa (ML) [g] |
| 1 | 0,00508521 | 57,4 | 58,0 | 56,9 |
| 2 | 0,00507518 | 58,3 | 58,9 | 57,7 |
| 3 | 0,00508014 | 58,1 | 58,6 | 57,5 |
| Média | 0,005080177 | 57,9 | 58,5 | 57,4 |

| | | | |
|------|-------------------|--|-----------------------|
| FPPM | $(MI - ML) / A_T$ | $(57,9 - 57,4) / (2 \times 0,005080177)$ | 49,2 g/m ² |
|------|-------------------|--|-----------------------|

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 7 - Experimento 2 com 24 hs



Figura 8 - Experimento 2 com 72 hs



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

As tabelas 2, 3 e 4 apresentam os dados obtidos para o conjunto de amostras ensaiadas sem exposição ao VCI, exposto ao VCI na forma de cartão e exposto ao VCI líquido respectivamente. Avaliando a perda de massa por unidade de área verificou-se que os mesmos não tratados apresentaram a maior perda comparativamente às amostras tratadas com VCI cartão e VCI líquido, sugerindo que houve um efeito protetivo nas amostras tratadas com VCI.

Também ficou bem evidente a ação corrosiva entre as chapas tratadas e não tratadas em uma avaliação visual conforme apresentado pelas figuras 7 e 8 onde da esquerda para a direita estão dispostas as amostras sem tratamento, com VCI líquido e VCI cartão.

Avaliando os valores de perda de massa por área observou-se que os valores, para as amostras tratadas, apesar de ainda estarem dentro do intervalo de 50 a 90 g/m² são inferiores a perda observado para as amostras não tratadas com VCI.

Na hipótese de que ao colocar os corpos de prova tratados e não tratados, simultaneamente na câmara poderia haver influência de um conjunto sobre o outro repetiu-se o experimento de forma isolada para cada conjunto de amostras.

Na avaliação de perda de massa as amostras sem proteção tiveram uma perda na média de 0,9g, as protegidas pelo VCI cartão na média de 0,8g, e as protegidas pelo filme de VCI líquido a média de 0,5g, valores apresentados nas tabelas 2, 3 e 4.

A faixa permitida de perda de massa ficou em 88,7 g/m² nas chapas sem proteção, eficiente segundo a ISO 9227 (2017). Para as amostras protegidas por VCI líquido ficou em 49,2 g/m² e 78,9 g/m² para com proteção de VCI cartão.

As tabelas 5, 6 e 7 apresentam os dados obtidos para a condição de ensaio isolados. Percebe-se que perdeu a massa por metro quadrado das amostras não tratadas permanecem idênticas aos ensaios anteriores 88g/m². No entanto foi observado uma redução nos níveis de perda de massa por metro quadrado para as amostras que sofreram tratamento pelo VCI líquido 29,4g/m² como pelo VCI cartão 39,1g/m². Valores estes abaixo do intervalo considerado como referencial pela norma ISO 9227 sugerindo que o método de ensaio em avaliação poderia ser utilizado para avaliar a eficiência do método de proteção anticorrosivo por VCI.

O motivo de realizar o experimento de forma separada foi para verificar se as peças protegidas por VCI, tanto do cartão como líquido, que foi realizado no

experimento anterior, não influenciaram nos resultados, transferindo proteção para a chapa não protegida. Genovez, Hrdina e Schultz (2012), já mencionado anteriormente, afirmam que o VCI é volátil e tende a se fixar no metal. O VCI sublima por convecção e difusão no metal criando uma proteção impedindo qualquer reação de oxidação e corrosão. As figuras 9, 10 e 11 apresentam as reações nos corpos de prova sem VCI, VCI líquido e VCI na forma de cartão sucessivamente nesta ordem.

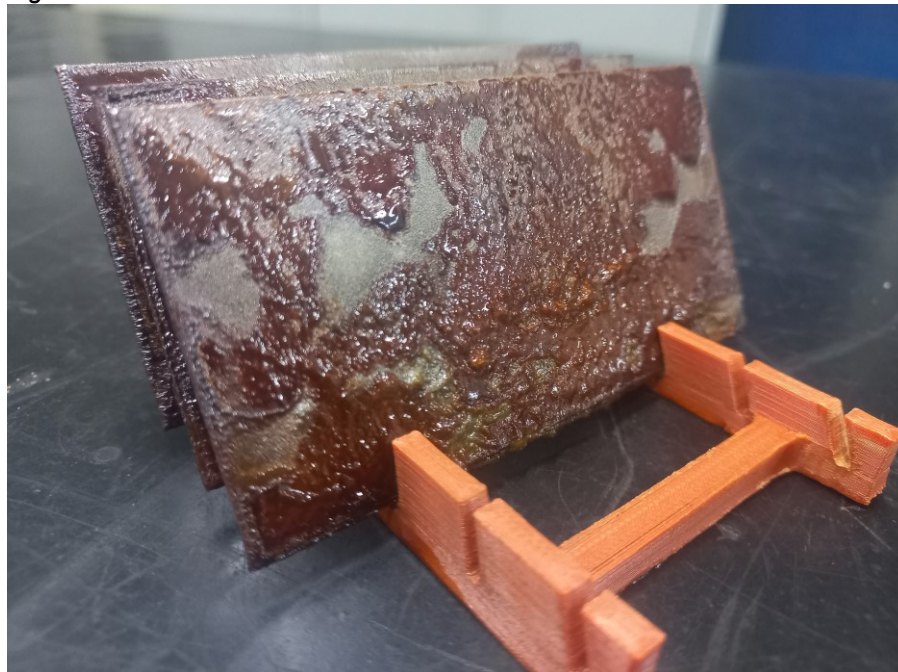
Tabela 5 - Experimento 3 - Amostras Sem VCI

| E3 – Experimento 3 - Amostras Sem VCI | | | | |
|---|----------------------------|---------------------------|-------------|----------------|
| 60g hipoclorito de cálcio, 40 ml ácido acético glacial, 150 ml água | | Massa – Data início e fim | | |
| | | 06/05/2022 | 09/05/2022 | |
| Nr Amostra | Área (A) [m ²] | Início (MI) [g] | Oxidada [g] | Limpa (ML) [g] |
| 1 | 0,0051153 | 58,9 | 60,5 | 57,2 |
| 2 | 0,00511036 | 59,1 | 61 | 56,9 |
| 3 | 0,0051204 | 59,5 | 61,1 | 57,3 |
| Média | 0,005115353 | 59,2 | 60,9 | 57,1 |

| | | | |
|------|-------------------|--|-----------------------|
| FPPM | $(MI - ML) / A_T$ | $(58,6 - 57,7) / (2 \times 0,005115353)$ | 88,0 g/m ² |
|------|-------------------|--|-----------------------|

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 9 - Sem VCI E3



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

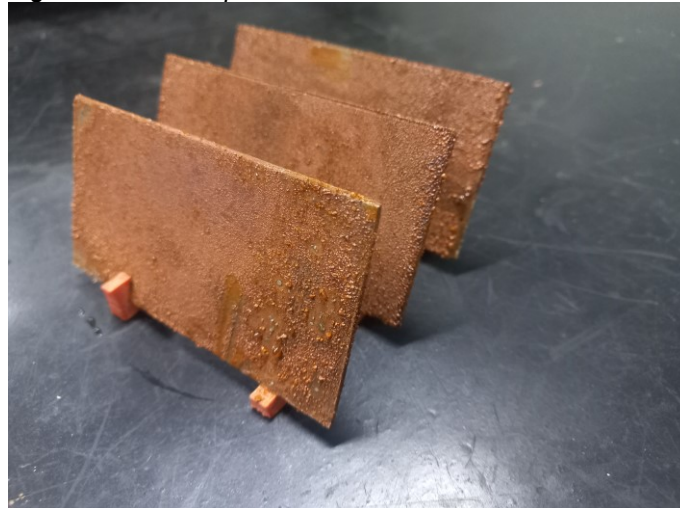
Tabela 6 - Experimento 4 - Amostras VCI Líquido

| E4 – Experimento 4 - Amostras VCI Líquido | | | | |
|---|----------------------------|---------------------------|-------------|----------------|
| 60g hipoclorito de cálcio, 40 ml ácido acético glacial, 150 ml água | | Massa – Data início e fim | | |
| | | 09/05/2022 | 12/05/2022 | |
| Nr Amostra | Área (A) [m ²] | Início (MI) [g] | Oxidada [g] | Limpa (ML) [g] |
| 1 | 0,00513044 | 59,4 | 59,8 | 59,1 |
| 2 | 0,00513044 | 59,6 | 60,0 | 59,3 |
| 3 | 0,00505512 | 58,9 | 59,8 | 58,6 |
| Média | 0,005105333 | 59,3 | 59,9 | 59,0 |

| | | | |
|------|-------------------|--|-----------------------|
| FPPM | $(MI - ML) / A_T$ | $(59,3 - 59,0) / (2 \times 0,005105333)$ | 29,4 g/m ² |
|------|-------------------|--|-----------------------|

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 10 – VCI líquido E4



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

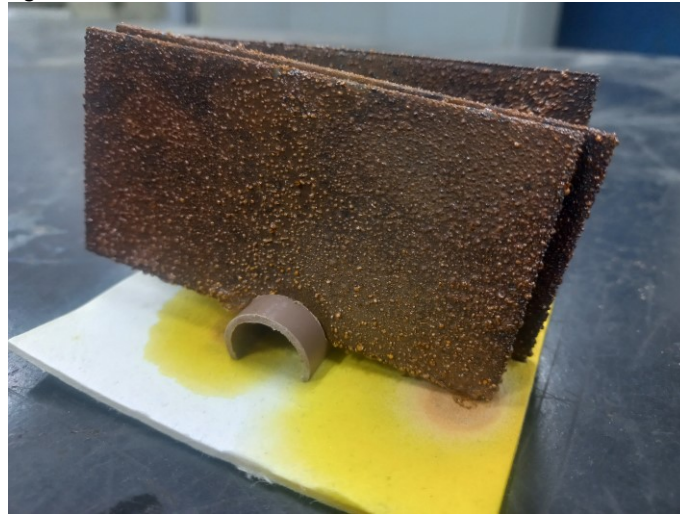
Tabela 7 - Experimento 5 - Amostras VCI Cartão

| E5 – Experimento 5 - Amostras VCI Cartão | | | | |
|---|----------------------------|---------------------------|-------------|----------------|
| 60g hipoclorito de cálcio, 40 ml ácido acético glacial, 150 ml água | | Massa – Data início e fim | | |
| | | 13/05/2022 | 16/05/2022 | |
| Nr Amostra | Área (A) [m ²] | Início (MI) [g] | Oxidada [g] | Limpa (ML) [g] |
| 1 | 0,00513044 | 59,0 | 60,0 | 58,6 |
| 2 | 0,0051153 | 59,1 | 60,0 | 58,7 |
| 3 | 0,0051204 | 59,2 | 60,4 | 58,9 |
| Média | 0,005122047 | 59,1 | 60,1 | 58,7 |

| | | | |
|------|-------------------|--|-----------------------|
| FPPM | $(MI - ML) / A_T$ | $(59,1 - 58,7) / (2 \times 0,005122047)$ | 39,1 g/m ² |
|------|-------------------|--|-----------------------|

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 11 - VCI cartão E5



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A perda de massa ocorreu na média de 2,1g para as chapas não protegidas, 0,3g para as protegidas por VCI líquido e 0,4g com VCI cartão. O FPPM fica em 88,0 g/m² sem proteção, 29,4 g/m² com proteção líquida e 39,1 para o VCI no cartão.

4.2 Avaliação dos efeitos em atmosfera formada por 60g hipoclorito de cálcio

No intuito de realizar os testes sem que houvesse o vapor úmido produzido pela reação do hipoclorito de cálcio adicionado a água e ao ácido acético glacial, foram repetidos os testes somente com o hipoclorito de cálcio. Desta forma as amostras estavam apenas sob o efeito da névoa de vapor de cloro gerado pela sua decomposição natural.

Tabela 8 - Experimento 6.1 - Amostras Sem VCI

| E6.1 – Experimento 6.1 - Amostras Sem VCI | | | | |
|---|----------------------------|---------------------------|-------------|----------------|
| 60g hipoclorito de cálcio | | Massa – Data início e fim | | |
| | | 26/04/2022 | 29/04/2022 | |
| Nr Amostra | Área (A) [m ²] | Início (MI) [g] | Oxidada [g] | Limpa (ML) [g] |
| 1 | 0,00510018 | 58,1 | 58,1 | 58,1 |
| 2 | 0,00504504 | 57,1 | 57,1 | 57,1 |
| 3 | 0,00507507 | 58,4 | 58,4 | 58,4 |
| Média | 0,00507343 | 57,9 | 57,9 | 57,9 |

| | | | |
|------|----------------------------|----------------------------------|--------------------|
| FPPM | (MI – ML) / A _T | (57,9 - 57,9) / (2 x 0,00507343) | 0 g/m ² |
|------|----------------------------|----------------------------------|--------------------|

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 9 - Experimento 6.2 - Amostras VCI cartão

| E6.2 – Experimento 6.2 - Amostras VCI cartão | | | | |
|--|----------------------------|---------------------------|-------------|----------------|
| 60g hipoclorito de cálcio | | Massa – Data início e fim | | |
| | | 26/04/2022 | 29/04/2022 | |
| Nr Amostra | Área (A) [m ²] | Início (MI) [g] | Oxidada [g] | Limpa (ML) [g] |
| 1 | 0,00510018 | 57,7 | 57,7 | 57,7 |
| 2 | 0,00507518 | 57,3 | 57,3 | 57,3 |
| 3 | 0,00504504 | 57,3 | 57,3 | 57,3 |
| Média | 0,005073467 | 57,4 | 57,4 | 57,4 |

| | | | |
|------|-------------------|--|--------------------|
| FPPM | $(MI - ML) / A_T$ | $(57,4 - 57,4) / (2 \times 0,005073467)$ | 0 g/m ² |
|------|-------------------|--|--------------------|

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 10 - Experimento 6.3 - Amostras VCI líquido

| E6.3 – Experimento 6.3 - Amostras VCI líquido | | | | |
|---|----------------------------|---------------------------|-------------|----------------|
| 60g hipoclorito de cálcio | | Massa – Data início e fim | | |
| | | 26/04/2022 | 29/04/2022 | |
| Nr Amostra | Área (A) [m ²] | Início (MI) [g] | Oxidada [g] | Limpa (ML) [g] |
| 1 | 0,00508521 | 58,7 | 58,7 | 58,6 |
| 2 | 0,00505505 | 57,4 | 57,4 | 57,3 |
| 3 | 0,0051051 | 58,5 | 58,5 | 58,5 |
| Média | 0,005081787 | 58,2 | 58,2 | 58,1 |

| | | | |
|------|-------------------|--|----------------------|
| FPPM | $(MI - ML) / A_T$ | $(58,2 - 58,1) / (2 \times 0,005081787)$ | 9,8 g/m ² |
|------|-------------------|--|----------------------|

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 12 - Experimento 6 com 72 hs



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 13 - E6.1 comparado com E6.2

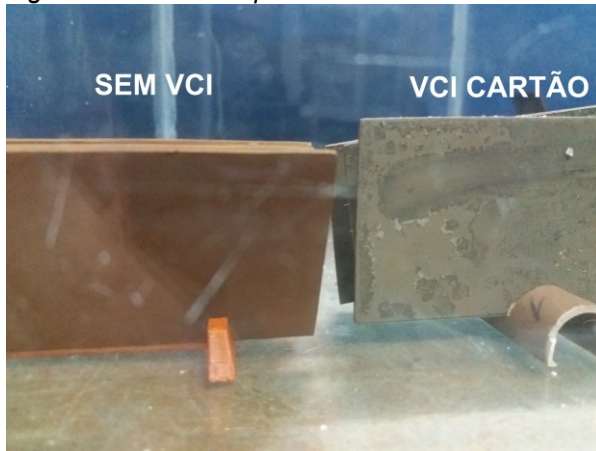
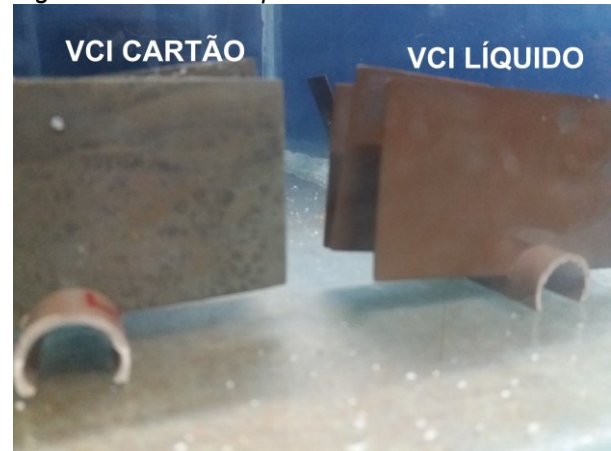


Figura 14 - E6.2 comparado com E6.3



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Neste ensaio o conjunto de amostras foi inserido na câmara de ensaio em sua totalidade, isto é, amostras com e sem tratamento. Ao final das 72 horas de exposição ao agente corrosivo constatou-se que as amostras sem tratamento e tratadas com VCI cartão praticamente não apresentaram perda de massa conforme representado pelas tabelas 8 e 9 com 0 g/m^2 e a tabela 10 com $9,8 \text{ g/m}^2$.

A ausência de variação de perda de massa nos experimentos 8 e 9 pode estar relacionada ao sistema de medição padronizado neste trabalho, onde considerou-se apenas uma casa decimal, ou seja, $0,1\text{g}$ e a referida perda poderia estar abaixo disto. Esta possível perda abaixo de $0,1\text{g}$ supõe-se pelo fato do uso do hipoclorito de cálcio quando utilizado sem a adição de água e do ácido acético glacial, usado no método anteriormente estudado, não ser tão agressivo para o período de 72 horas que as amostras estiveram expostas.

Já a variação apresentado pelas amostras tratadas com VCI líquido serem maiores que as sem proteção e na forma de cartão, pode ser devido a remoção do filme protetivo formado pelo próprio VCI no momento em que a chapa foi tratada inicialmente e por ser solúvel em água se desfez no momento da limpeza das amostras. Em uma avaliação visual, figuras 12, 13 e 14, ficou evidente este menor ataque por parte do agente agressivo se comparado com o ensaio E2.1, E2.2 e E2.3 onde as amostras também estavam todas na câmara, no entanto, na presença do hipoclorito mais água mais ácido. Infelizmente este fato não foi percebido no momento da realização das medidas mas somente no momento de tratamento dos

dados, razão pela qual não se realizou uma contraprova para confirmar esta hipótese.

Estando o agente corrosivo em uma forma menos agressiva (seco) estima-se ser insuficiente o período de 72 horas. Pela mesma razão apresentado anteriormente também não foram realizados ensaios com tempos superiores. Mesmo porque estava-se buscando um método que não fosse se estender por muito tempo, pois há trabalhos que relatam tempos superiores a 15 dias para a obtenção de dados consistentes (ACAUANA; SCIENZAB, 2014).

Seguindo com os métodos de comparação, se fez por bem repetir os testes agora de forma separada.

No estudo seguinte novamente se realizou os ensaios de forma isolada para cada conjunto de amostras uma vez que os dados obtidos anteriormente se mostraram mais eficientes nesta condição de ensaio. No entanto optou-se em não realizar o experimento utilizando o VCI líquido em virtude do resultado anômalo encontrado anteriormente até que pudesse ser encontrado uma possível causa para tal comportamento. Também optou-se em manter o intervalo do ensaio em 72 horas para que pudéssemos ter parâmetros de comparação.

Ainda nesta condição ensaiou-se amostras submetidas a impregnação de VCI cartão, no entanto manteve-se o cartão abaixo do conjunto de chapas sem que houvesse contato físico com as mesmas, conforme mostrado pelas figuras 15 e 16.

Tabela 11 - Experimento 7 - Amostras VCI cartão (cartão na câmara abaixo dos corpos de prova)

| E7 – Experimento 7 - Amostras VCI cartão (cartão na câmara abaixo dos corpos de prova) | | | | |
|--|----------------------------|---------------------------|-------------|----------------|
| 60g hipoclorito de cálcio | | Massa – Data início e fim | | |
| | | 29/04/2022 | 02/05/2022 | |
| Nr Amostra | Área (A) [m ²] | Início (MI) [g] | Oxidada [g] | Limpa (ML) [g] |
| 1 | 0,00513044 | 59,5 | 59,6 | 59,5 |
| 2 | 0,00511036 | 59,3 | 59,4 | 59,3 |
| 3 | 0,0051255 | 59,7 | 59,8 | 59,6 |
| Média | 0,0051221 | 59,5 | 59,6 | 59,5 |

| | | | |
|------|-------------------|--|--------------------|
| FPPM | $(MI - ML) / A_T$ | $(59,5 - 59,5) / (2 \times 0,0051221)$ | 0 g/m ² |
|------|-------------------|--|--------------------|

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 15 - E7 início Amostras sobre cartão VCI

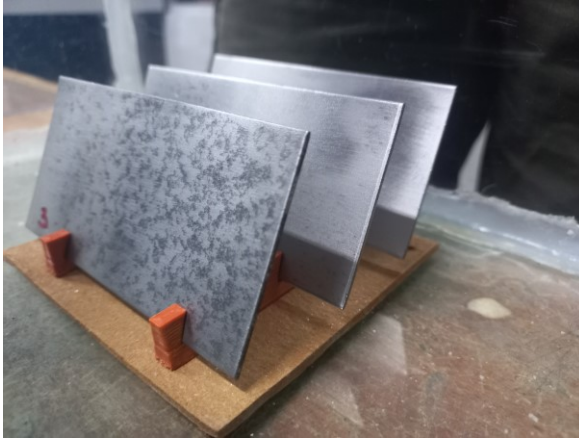
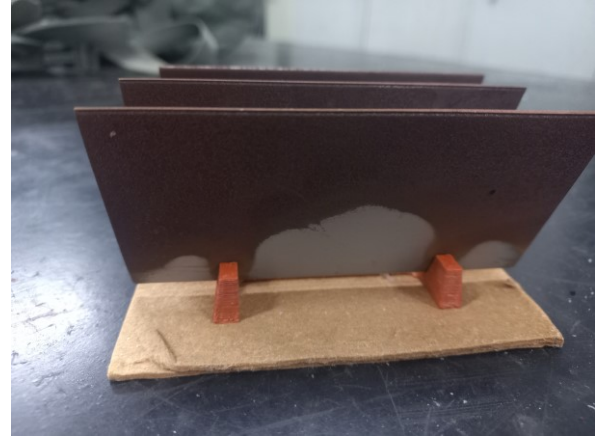


Figura 16 - E7 após 72 horas



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Os resultados da perda de massa também não foram perceptíveis conforme já mencionado anteriormente, no entanto, verificou-se visualmente que houve a formação de uma película, também facilmente removida no momento da limpeza, na parte mais afastada do cartão contendo VCI sugerindo uma proteção adicional na parte mais próxima do agente inibidor como pode ser observado na figura 16.

As tabelas 11 e 12 apresentam os dados deste conjunto de ensaios. Nesta condição de ensaio as amostras sem tratamento não apresentaram perda de massa perceptível dentro da resolução da balança, no entanto, visualmente pode ser constatado a formação de um filme junto a superfície da chapa, assim assemelhando-se a uma “pintura”, figura 17. Durante o período de exposição de 72 horas na câmara de ensaio ocorreu ganho de massa das amostras por oxidação produzida pelo agente corrosivo, porém após a limpeza final e a remoção, as amostras não tiveram perda de massa perceptível na balança.

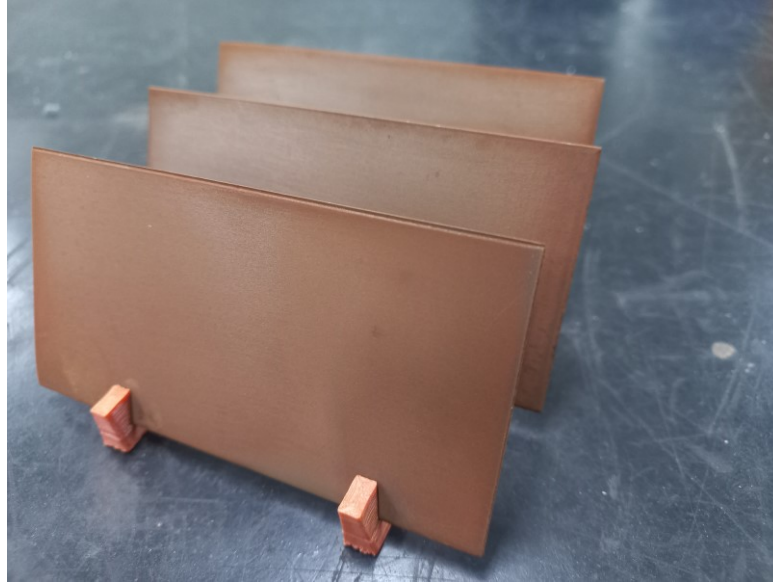
Tabela 12 - Experimento 8 - Amostras Sem VCI

| E8 – Experimento 8 - Amostras Sem VCI | | | | |
|---------------------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------|----------------|
| 60g hipoclorito de cálcio | | Massa – Data início e fim | | |
| | | 03/05/2022 | 06/05/2022 | |
| Nr Amostra | Área (A) [m ²] | Início (MI) [g] | Oxidada [g] | Limpa (ML) [g] |
| 1 | 0,0051153 | 59,0 | 59,3 | 58,9 |
| 2 | 0,00511036 | 59,1 | 59,4 | 59,1 |
| 3 | 0,0051204 | 59,6 | 59,9 | 59,5 |
| Média | 0,005115353 | 59,2 | 59,5 | 59,2 |

| | | | |
|------|-------------------|--|--------------------|
| FPPM | $(MI - ML) / A_T$ | $(59,2 - 59,2) / (2 \times 0,005115353)$ | 0 g/m ² |
|------|-------------------|--|--------------------|

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 17 - E8 Sem VCI



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

No momento da limpeza das amostras este filme facilmente se destacou da superfície quando exposto a um fluxo de água (torneira). Como inicialmente, supondo-se ser o resultado da corrosão, não foi feita uma avaliação mais profunda do filme. Somente após a constatação que a perda de massa não foi significativa, levantou-se a hipótese que o mesmo pudesse ter sido produto da reação do agente corrosivo com algum elemento do meio.

4.3 Avaliação dos efeitos em atmosfera formada por gases da degradação de policloreto de vinila (PVC) queimado

Apesar dos experimentos até então realizados terem apresentados resultados que mereciam ser melhor explorados, optou-se ainda em avaliar o efeito corrosivo proveniente da decomposição (queima) do policloreto de vinila (PVC), pois houve menção em trabalhos realizados por Moreno et al. (2011) e IKEM (2019) que o vapor gerado pela degradação do PVC também gera um ambiente corrosivo.

No intuito inicial de observar a viabilidade do ensaio, o procedimento se restringiu a amostras sem tratamento de VCI e apenas uma amostra tratada com VCI líquido a título de comparação. Caso os resultados se mostrassem promissores o ensaio seria repetido de forma mais sistemática para as três classes de amostras.

Tabela 13 - Experimento 9.1 - Amostras sem VCI

| E9.1 – Experimento 9.1 - Amostras sem VCI | | | | |
|--|----------------------------|---------------------------|-------------|----------------|
| Fumaça de policloreto de vinila (PVC) queimado | | Massa – Data início e fim | | |
| | | 16/05/2022 | 19/05/2022 | |
| Nr Amostra | Área (A) [m ²] | Início (MI) [g] | Oxidada [g] | Limpa (ML) [g] |
| 1 | 0,00516078 | 59,3 | 59,5 | 59,1 |
| 2 | 0,00509509 | 58,2 | 58,4 | 57,9 |
| 3 | 0,0051456 | 59,7 | 59,8 | 59,5 |
| Média | 0,005133823 | 59,1 | 59,2 | 58,8 |

| | | | |
|------|-------------------|--|-----------------------|
| FPPM | $(MI - ML) / A_T$ | $(59,1 - 58,8) / (2 \times 0,005133823)$ | 29,2 g/m ² |
|------|-------------------|--|-----------------------|

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 18 - E9.1 - Sem VCI



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

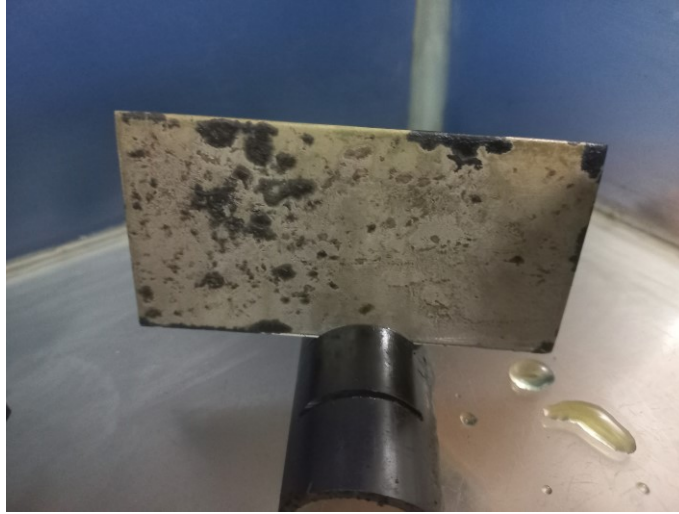
Tabela 14 - E9.2 – Experimento 9.2 - Amostras com VCI líquido

| E9.2 – Experimento 9.2 - Amostras com VCI líquido | | | | |
|---|----------------------------|---------------------------|-------------|----------------|
| Fumaça de policloreto de vinila (PVC) queimado | | Massa – Data início e fim | | |
| | | 16/05/2022 | 19/05/2022 | |
| Nr Amostra | Área (A) [m ²] | Início (MI) [g] | Oxidada [g] | Limpa (ML) [g] |
| 1 | 0,00515584 | 58,9 | 58,8 | 58,5 |
| Média | 0,00515584 | 58,9 | 58,8 | 58,5 |

| | | | |
|------|-------------------|---|-----------------------|
| FPPM | $(MI - ML) / A_T$ | $(58,9 - 58,5) / (2 \times 0,00515584)$ | 38,8 g/m ² |
|------|-------------------|---|-----------------------|

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 19 - E9.2 VCI líquido



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

As tabelas 13 e 14 mostram os dados para as amostras sem tratamento e tratados com VCI líquido respectivamente. As figuras 18 e 19 pode-se observar o aspecto da superfície das chapas resultante da exposição a fumaça de PVC.

Visualmente a chapa tratada com VCI líquido, figura 19, foi menos afetada do que a sem tratamento, figura 18, no entanto, se observarmos os valores de perda de massa as amostras não tratadas apresentaram menos perda. O aspecto mais grosseiro dos pontos agredidos sobre a chapa também se mostraram de mais difícil remoção no momento da limpeza sugerindo ser o método mais agressivo. Como numa primeira perspectiva os dados foram em sentido oposto ao que se esperava, e em virtude dos longos tempos para a execução dos ensaios, bem como do calendário apertado, optou-se em não prosseguir com esta modalidade, sem no entanto descartar o método. Sugere-se retomar esta linha de investigação em um momento mais oportuno.

4.4 Avaliação dos efeitos em atmosfera formada por Ácido Acético Glacial

Como a metodologia descrita pela ISO 9227 também menciona a utilização de uma mistura de água salgada e ácido acético decidiu-se em averiguar a viabilidade da utilização do ácido acético glacial como meio agressivo.

Para não aplicá-lo de forma líquida decidiu-se em vaporizar o mesmo de modo que o vapor ácido agisse sobre a superfície das amostras. Assim se promoveu

a evaporação do ácido no interior da câmara utilizando como meio de aquecimento o mesmo dispositivo utilizado para degradar o PVC.

Dentro do período do ensaio de 72 horas não foi observado variação significativa com base no sistema de medição conforme pode ser contactado pelos dados na tabela 15, sugerindo inicialmente que o intervalo de tempo seja muito curto.

Tabela 15 - Experimento 10 - Amostras sem VCI

| E10 – Experimento 10 - Amostras sem VCI | | | | |
|---|----------------------------|---------------------------|-------------|----------------|
| Ácido acético glacial | | Massa – Data início e fim | | |
| | | 20/05/2022 | 23/05/2022 | |
| Nr Amostra | Área (A) [m ²] | Início (MI) [g] | Oxidada [g] | Limpa (ML) [g] |
| 1 | 0,00516078 | 59,1 | 59,2 | 59,0 |
| 2 | 0,00509509 | 57,9 | 58,0 | 57,9 |
| 3 | 0,0051456 | 59,5 | 59,6 | 59,4 |
| Média | 0,005133823 | 58,8 | 58,9 | 58,8 |

| | | | |
|------|-------------------|--|--------------------|
| FPPM | $(MI - ML) / A_T$ | $(58,8 - 58,8) / (2 \times 0,005133823)$ | 0 g/m ² |
|------|-------------------|--|--------------------|

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 20 - E10 Sem VCI



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Quanto ao aspecto visual da superfície da amostra, figura 20, se percebeu que também houve a formação de uma película decorrente de algum processo químico. Esta película também foi removida sem dificuldade mediante lavagem em água corrente parecendo ser apenas um depósito superficial. Não foi observado a

formação de gotas ou escorridos sobre as superfícies das chapas em função da condensação do vapor ácido, o que não causaria a remoção do eventual revestimento.

Apesar do ensaio exploratório não ter sido promissor em relação a verificar os efeitos corrosivos, este método também merece ser melhor estudado variando o tempo de exposição bem como entender as reações envolvidas junto a superfície da chapa.

4.5 Comparativo dos experimentos realizados

De uma forma geral, independentemente do método utilizado se constatou um aumento da massa das amostras durante a etapa em que estiveram submetidas ao meio agressivo. Em alguns casos este ganho de massa está relacionado com o processo de corrosão propriamente dito, já em outros se observou a formação de um filme sobre a superfície e que foi facilmente removido na etapa de limpeza/lavagem.

Também ficou evidente a melhor eficiência dos ensaios onde se utilizou a mistura do hipoclorito de cálcio, água e ácido acético glacial, experimentos E1 ao E5, faltando no entanto encontrar uma condição otimizada de reagentes que favoreçam um comparativo mais efetivo com o ensaio padronizado por aspensão salina. Ainda neste método se percebeu um resultado mais coerente quando as amostras foram inseridas isoladamente.

Na condição de ensaio utilizando apenas hipoclorito de cálcio na forma sólida não se obteve uma resposta clara da eficácia do experimento que pode estar relacionado com o tempo insuficiente ou mesmo uma taxa de liberação do gás cloro reduzido.

Com relação aos ensaios utilizando a degradação do PVC e vapor ácido não se pode retirar conclusões, pois como mencionado estes foram realizados no intuito de vislumbrar um caminho mais promissor faltando, no entanto, uma investigação mais profunda para que se possa afirmar algo.

As tabelas 16, 17 e 18 mostram respectivamente um apanhado geral dos dados obtidos por pesagem e a perda de massa por área para os experimentos realizados.

Tabela 16 - Legenda dos experimentos realizados

| | |
|--|---|
| Hipoclorito de cálcio, ácido acético glacial, água | E1 – Experimento 1 - Amostras Sem VCI |
| | E2.1 – Experimento 2.1 - Amostras Sem VCI |
| | E2.2 – Experimento 2.2 - Amostras VCI cartão |
| | E2.3 – Experimento 2.3 - Amostras VCI líquido |
| | E3 – Experimento 3 - Amostras Sem VCI |
| | E4 – Experimento 4 - Amostras VCI Líquido |
| | E5 – Experimento 5 - Amostras VCI Cartão |
| Hipoclorito de cálcio | E6.1 – Experimento 6.1 - Amostras Sem VCI |
| | E6.2 – Experimento 6.2 - Amostras VCI cartão |
| | E6.3 – Experimento 6.3 - Amostras VCI líquido |
| | E7 – Experimento 7 - Amostras VCI cartão (Cartão abaixo dos corpos de prova) |
| | E8 – Experimento 8 - Amostras Sem VCI |
| Fumaça de policloreto de vinila (PVC) | E9.1 – Experimento 9.1 - Amostras sem VCI |
| | E9.2 – Experimento 9.2 - Amostras com VCI líquido |
| Ácido acético glacial | E10 - Experimento 10 - Amostra sem VCI |

Tabela 17 - Valores de massa das amostras

| | INÍCIO | OXIDADO | LIMPO |
|------|--------|---------|-------|
| E1 | 58,6 | 61,2 | 57,7 |
| E2.1 | 58,5 | 58,9 | 57,6 |
| E2.2 | 58,3 | 58,7 | 57,5 |
| E2.3 | 57,9 | 58,5 | 57,4 |
| E3 | 59,2 | 60,9 | 57,1 |
| E4 | 59,3 | 59,9 | 59 |
| E5 | 59,1 | 60,1 | 58,7 |
| E6.1 | 57,9 | 57,9 | 57,9 |
| E6.2 | 57,4 | 57,4 | 57,4 |
| E6.3 | 58,2 | 58,2 | 58,1 |
| E7 | 59,5 | 59,6 | 59,5 |
| E8 | 59,2 | 59,5 | 59,2 |
| E9.1 | 59,1 | 59,2 | 58,8 |
| E9.2 | 58,9 | 58,8 | 58,5 |
| E10 | 58,8 | 58,9 | 58,8 |

Tabela 18 - Perda de massa - g/m²

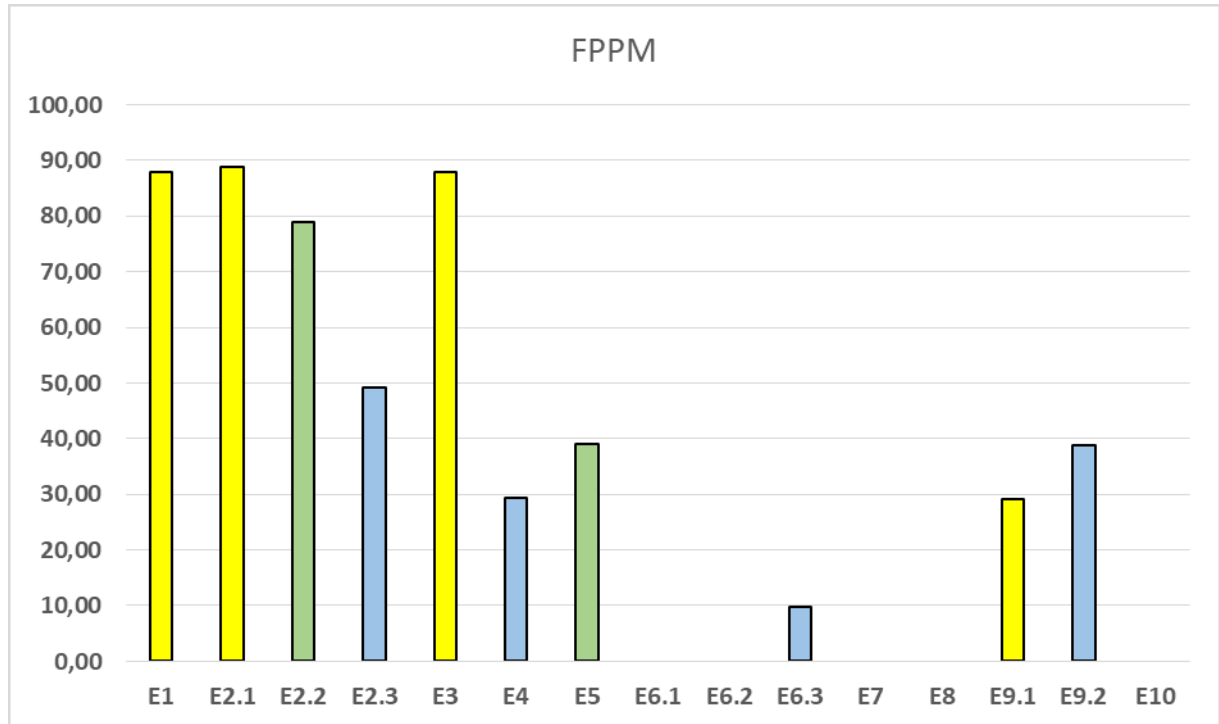
| | FPPM |
|------|-------|
| E1 | 87,88 |
| E2.1 | 88,73 |
| E2.2 | 78,87 |
| E2.3 | 49,21 |
| E3 | 87,97 |
| E4 | 29,38 |
| E5 | 39,05 |
| E6.1 | 0,00 |
| E6.2 | 0,00 |
| E6.3 | 9,84 |
| E7 | 0,00 |
| E8 | 0,00 |
| E9.1 | 29,22 |
| E9.2 | 38,79 |
| E10 | 0,00 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Já o gráfico 1 nos fornece um comparativo visual da perda da massa por área para os ensaios realizados. Como já mencionado anteriormente, no decorrer da elaboração das tabelas referente aos experimentos, o gráfico apresenta um

comparativo visual mais claro de se observar em relação a diferença de perda de massa entre as amostras não tratada e as protegidas pelo VCI. Constata-se que os corpos de prova não protegidos tiveram uma perda de massa superior em comparação as protegidas tomando por base os experimentos utilizando o composto de hipoclorito de cálcio, ácido acético glacial e água.

Gráfico 1 - Massa dos corpos de prova



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

As figuras 21 e 22 apresentam o aspecto visual da região afetada pela corrosão das chapas não tratadas pelo VCI, após o processo de limpeza já ter sido realizado. Sugere-se que mesmo após a limpeza mecânica e eletroquímica há a presença de material oxidado junto a superfície, assim sendo, possivelmente as perdas de massa encontradas certamente seriam maiores em se aprimorando a limpeza das amostras. A comparação pode ser feita ao observar as figuras 23 e 24 de chapas metálicas protegidas por VCI líquido, onde os resquícios de oxidação não são perceptível.

Figura 21 - Experimento 2.1 - Amostra Sem VCI

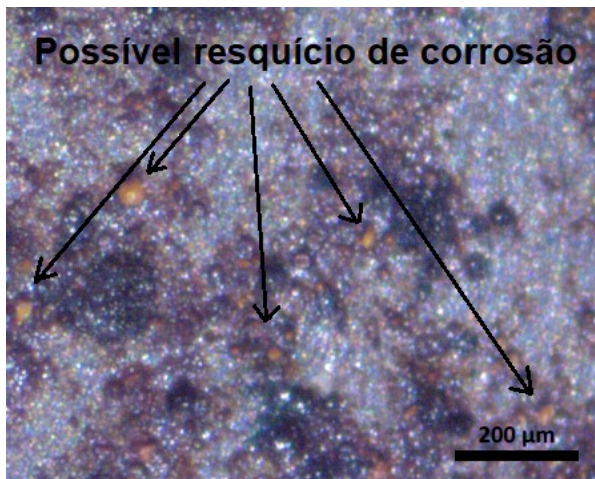
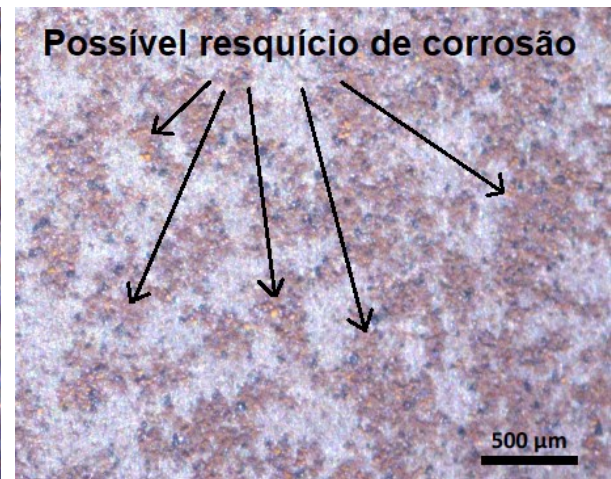


Figura 22 - Experimento 2.1 - Amostra Sem VCI

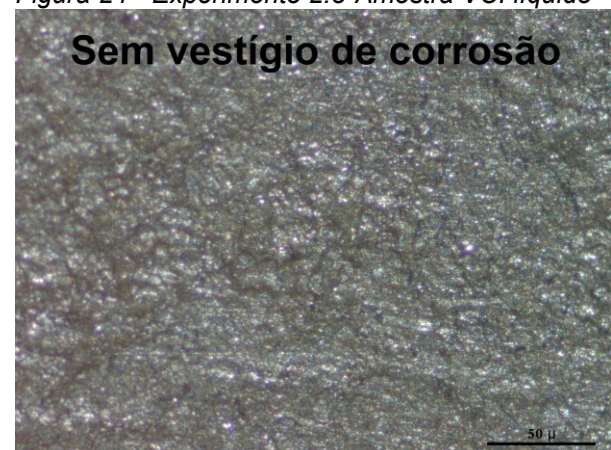


Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 23 - Experimento 2.3-Amostra VCI líquido



Figura 24 - Experimento 2.3-Amostra VCI líquido



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

5 CONCLUSÃO

Como o propósito do trabalho foi a determinação de um procedimento de ensaio que pudesse ser utilizado como método alternativo ao ensaio de névoa salina normalmente utilizado como método de avaliação da eficiência a inibidores de corrosão pode-se afirmar que os métodos de avaliação apresentados neste trabalho possuem grande potencial a serem empregados como ensaios alternativos.

Dentre as quatro linhas abordadas a mais agressiva, com base nos dados obtidos, é a modalidade onde se utiliza como meio agressivo o hipoclorito de cálcio em conjunto com água e ácido acético glacial, sendo as amostras ensaiadas individualmente. No meio agressivo composto por hipoclorito de cálcio em conjunto com água e ácido acético glacial a Faixa Permitida de Perda de Massa (FPPM) ficou em torno de 87,88 a 88,73 para as amostras sem a proteção de VCI apresentando a eficiência da câmara de ensaio diante da proposta de seguir a faixa aceitável entre 70 ± 20 gramas por metro quadrado.

As demais modalidades não podem ser descartadas neste momento, pois carecem de uma investigação mais detalhada no que se refere aos parâmetros de ensaio como o tempo de permanência, quantidade dos reagentes utilizados, disposição das amostras, volume da câmara de ensaio, tempo de pré-exposição ao agente inibidor, entre outros.

Constatado que os experimentos na câmara de ensaio utilizando o hipoclorito de cálcio em conjunto com água e ácido acético glacial é o mais agressivo e mais apto a avaliar a proteção do VCI, este na forma líquida se mostrou o mais eficiente conforme foi verificado nos experimentos E2.3 e E4.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Refazer os experimentos com o intuito de verificar a influência dos diversos parâmetros mencionados neste trabalho;
- Realizar um comparativo direto entre os ensaios sugeridos e o teste da névoa salina, não permanecendo apenas nos dados da norma.

REFERÊNCIAS

ACAUANA, Cássia Luara Costella; SCIENZAB, Lisete Cristine. Ação de inibidores voláteis de corrosão em aço carbono AISI 1020. *In: INTERCORR 2014*, Salvador. **INTERCORR2014** [...]. Salvador: ABRACO, 2014.

ASM INTERNATIONAL HANDBOOK COMMITTEE. **ASM Handbook**: Corrosion: Environments and Industries. Ohio : www.asminternational.org, v. Volume 13C, 2006. ISBN: 9780871707093.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR NM 87**: Aço carbono e ligados para construção mecânica - Designação e composição química. São Paulo, 2000.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 8094**: Material metálico revestido e não revestido - Corrosão por exposição à névoa salina. Rio de Janeiro: ABNT. 1983. 3 p.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 16761**: Corrosão atmosférica - Classificação da corrosividade de atmosferas. Rio de Janeiro, 2001.

ASTM - American Society for Testing and Materials. **ASTM B 117 – 03**: Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus. United States: ASTM. 2003. 10 p.

ASTM (2003)

(ASTM, 2003)

BAKER, H. R. Volatile Rust Inhibitors. **Industrial and Engineering Chemistry**, v. 46, n. 12, p. 2592–2598, 1952.

BMS. **Processo de corrosão faz com que 30% da produção mundial de ferro e aço seja desperdiçada**: custos com corrosão correspondem de 1 a 5% do PIB dos países. Custos com corrosão correspondem de 1 a 5% do PIB dos países. 2020.

Disponível em: <https://brasilminingsite.com.br/processo-de-corrosao-faz-com-que-30-da-producao-mundial-de-ferro-e-aco-seja-desperdicada/>. Acesso em: 12 out. 2021.

BROWN, T. L.; LEMAY, H. E.; BURSTEN, B. E.; BURDGE, J. R.; **Química**: a ciência central, 9ª ed., São Paulo: Pearson Education, 2005

BUCHWEISHAIJA, J. Phytochemicals as green corrosion inhibitors in various corrosive media: a review. **Tanzania Journal of Science**, v.35, 2009

CHENG, N. *et al.* Corrosion Inhibitors for Prolonged Protection of Military Equipment and Vehicles. **Materials performance**, Singapore: NACE INTERNATIONAL, ano 2016, n. 55, 1 jan. 2016. Mensal.

CORROSÃO. São Paulo: Sociedade Brasileira de Química, n. 19, 23 mar. 2003. Trimestral. Disponível em: <http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc19/a04.pdf>. Acesso em: 05 out. 2021.

DWIVEDI, D.; LEPKOVA, K.; BECKER, T. Carbon steel corrosion: a review of key surface properties and characterization methods. **The Royal Society of Chemistry**, n.7, p.4580-4610, 2017.

FERREIRA, Bruno Oliveira. **Estudo da Corrosão Provocada pelo Cloro e Procura de Materiais Alternativos**. Orientador: Francisco José Gomes da Silva. 2015. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2015.

GARCIA L. P., Aplicação de inibidores de corrosão na indústria de Petróleo e Gás. **Unisanta Science and Technology**. v.2, n.1. 2013.

GENOVEZ, Mário C.; HRDINA, Radim; SCHULTZ, Marcelo. Inibidores de Corrosão Utilizando a Tecnologia V-Active VCI: Conceito e Aplicação. *In*: INTERCORR 2012, 2012, Salvador. **INTERCORR2012** [...]. Salvador: ABRACO, 2012.

GENTIL, V.; **Corrosão**, 6ª ed., LTC: Rio de Janeiro, 2011.

HEADQUARTERS DEPARTMENT - ARMY. **Corrosion Prevention and Control for Army Materiel**: Maintenance of Supplies and Equipment. Washington, DC: Headquarters Department of the Army. 2020. 21 p.

IKEM - INNOVATION AND CHEMICAL INDUSTRIES IN SWEDEN (org.). **Fact Sheet: PVC and Fire**. 2019. Disponível em: https://www.ikem.se/globalassets/pvc-forum-delwebb/dokument-pvc-forum/fact-sheet-pvc-and-fire_20190903.pdf. Acesso em: 15 mar. 2022.

MODESTO, Marina Gracinda. **Avaliação do Molibdato de Sódio, Tungstato de Sódio e um Copolímero a Base de Silano como Inibidores de Corrosão para o Aço-Carbono ABNT 1005 em Meio de NaCl 3,5%**. 2008.

MORENO, Hilton *et al.* Guia O Setor Elétrico de Normas Brasileira. **Revista O Setor Elétrico**, São Paulo: Atitude Editorial Ltda., ano 2011, Disponível em: https://d12sd7h1px1tbv.cloudfront.net/sites/www.voltimum.com.br/files/pdflibrary/guia_o_setor_eletrico_de_normas_brasileiras_0.pdf. Acesso em: 2 mai. 2022.

NACE - National Association of Corrosion Engineers . **NACE TM0208-2013**: Laboratory Test to Evaluate the Vapor-Inhibiting Ability of Volatile Corrosion Inhibitor Materials for Temporary Protection of Ferrous Metal Surfaces. Houston, Texas: NACE. 2013. 24 p.

PERES, Lucas Diehl. **Proteção VCI para suas armas e equipamentos**. 2020. Disponível em: <https://defesa.org/dwp/protacao-vci-para-suas-armas-e-equipamentos/>. Acesso em: 15 out. 2021.

PERICOLI NETO, Victor Edson De Araújo *et al.* **Análise da Corrosão em Aço 1020 Utilizando Meio de Proteção com Anticorrosivo e Mistura de Cloro com Água como Agente Corrosivo**. 2018. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica,

Universidade Evangélica de Goiás , Anápolis, 2018. Disponível em: <http://repositorio.aee.edu.br/jspui/handle/aee/481>. acesso em: 18 mai. 2022.

PIMENTA, Egnalda Pereira da Silva; GOULART-SANTOS, Sandra. Resistência à corrosão de aços revestidos com zinco submetidos ao teste em câmara de névoa salina. *In: NTERCORR* , 2016., 2016, Búzios - RJ . **Anais [...]**. Búzios - RJ : autor(es), 2016. Disponível em: https://abraco.org.br/src/uploads/intercorr/2016/INTERCORR2016_074.pdf. Acesso em: 31 mar. 2022.

RIBEIRO, José Luiz S. *et al.* Avaliação Laboratorial de Inibidores Voláteis de Corrosão de Proteção Externa de Fundo de Tanque Atmosférico. *In: Conferência Sobre Tecnologia de Equipamentos*, 13^{a.}, 2015, Pernambuco. **Anais [...]**. Cabo de Santo Agostinho - PE: autor(es), 2015.

ROCHA, Janaina Cardozo da; GOMES, José Antônio da Cunha Ponciano. **Inibidores de corrosão naturais -Proposta de obtenção de produtos ecológicos de baixo custo a partir de resíduos industriais**. Revista Matéria, Suplemento. 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rmat/v22s1/1517-7076-rmat-22-suppl-e11927.pdf>. Acesso em: 05 out 2021.

ROMUALDO, Marcos Vinícius dos Santos. **Estudo de Inibidores Sintéticos de Corrosão para o Aço Carbono 1020 em Meios Altamentecorrosivos**. 2012. 90 f. TCC (Graduação) - Curso de Química, Departamento de Química Inorgânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

ROSA, Paloma Cardoso da. **Estudo da eficiência de inibidores voláteis de corrosão para o aço Galvannealed**. Orientador: Prof. Dr. Cecílio Sadao Fugivara. 2009. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araraquara - SP, 2009.

RUY V. (Alto Feliz – Rs). Al'Kim Químicos. **Os Efeitos e Impactos Econômicos da Corrosão na Indústria**. 2020. Disponível em: <https://www.alkim.com.br/post/os-efeitos-e-impactos-econ%C3%B4micos-da-corros%C3%A3o-na-industria>. Acesso em: 01 out. 2021.

SIEFERT, Wayne. **Rust Guard Premium™ VCI bags bring a powerful combination of advanced safety and unparalleled effectiveness to your metal parts**. 2021. Disponível em: https://green-vci.com/safest-vci-products-on-the-market/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=safest-vci-products-on-the-market. Acesso em: 28 out. 2021.

SILVA, Marcos V. F. *et al.* CORROSÃO DO AÇO-CARBONO: UMA ABORDAGEM DO COTIDIANO NO ENSINO DE QUÍMICA. **Química Nova**, Guaratinguetá – SP, Brasil, v. 38, n. 2, p. 293-296, 12 dev. 2014 12516-410. DOI: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20140313>.

VALENTE JÚNIOR, Marco Antonio Gomes. **Metodologias de avaliação do Inibidor Volátil de Corrosão (VCI) na proteção do aço**. Orientador: Prof. Dr. Cecilio Sadao Fugivara. 2018. 119 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara - SP, 2018.

VASANTH, K. L.. VAPOR PHASE CORROSION INHIBITORS FOR NAVY APPLICATIONS. **NACE National Association of Corrosion Engineers**, New Orleans, 1997.

ZHANG, D.; AN, Z.; PAN, Q.; GAO, L.; ZHOU, G. Volatile corrosion inhibitor film formation on carbon steel surface and its inhibition effect on the atmospheric corrosion of carbon steel. **Applied Surface Science**, v. 253, p. 1343-1348, 2006.

ANEXO A – FICHA TÉCNICA – LDA – LÍQUIDO DESENGRAXANTE ANTICORROSIVO



FICHA TÉCNICA – LDA – LÍQUIDO DESENGRAXANTE ANTICORROSIVO

01 - Descrição.

Solução VCI para desengraxe. Sais de ácidos orgânicos inibidores de corrosão em meio a uma mistura de solventes orgânicos e água, indicada para superfícies em aço, ferro fundido, alumínio e cobre. O composto é isento de amins livres, sulfato, nitrato, fosfatos e metais pesados.

02 - Manuseio.

Produto pronto para uso. Em casos específicos pode ser diluído em até 50% de água.

03 - Armazenagem.

Armazenar o produto na embalagem original, em local seco e a temperatura ambiente. Quando usadas corretamente, as embalagens apresentam validade de 24 meses.

04 - Controle de exposição e proteção individual.

O produto LDA é ATÓXICO;

O contato direto com a solução líquida de VCI, não causa irritação na pele, porém em caso de contato por longos períodos de tempo recomenda-se o uso de luvas de PVC e de óculos de proteção;

Lavar as mãos antes das refeições e no fim do expediente;

Em contato com os olhos promover a lavagem com água corrente por 10 minutos e procurar auxílio médico;

No caso de ingestão procurar auxílio médico imediatamente;

Produto não radioativo, não corrosivo, não inflamável. De modo geral o produto não oferece riscos à saúde humana;

Em caso de inalação de vapores por um período prolongado pessoas com alta sensibilidade podem sofrer leve incômodo, nestes casos remover a pessoa para local aberto com boa ventilação, caso os sintomas não desapareçam procurar auxílio médico.



End. Av. Edmundo Doubrawa, 570 Galpão 08
Zona Industrial Norte – Joinville – SC
CEP 89219-502 - Brasil



05 - Propriedades físicas e químicas.

Aspecto: Líquido;
Cor: Variável
Cheiro: Característico;
pH da solução (5 %, 25 °C): $9,5 \pm 1$;
Sólidos (105 °C, 1 h): 15 ± 3 %;
Viscosidade (Ford 4): $11,0 \pm 2$ s;
Peso específico (25 °C): $1,0 \pm 0,1$ g/cm³;
Temperatura de ebulição: superior a 100 °C;
Solubilidade em água: altamente solúvel.

06 - Aplicação.

A solução desengraxante de VCI anticorrosiva é amplamente aplicada nas indústrias de beneficiamento de metais como peças de aço, ferro fundido, alumínio e cobre. Os compostos do VCI contido na solução líquida tem a ação de se depositar sobre a superfície metálica das peças, da qual forma-se uma fina película (monomolecular) não oleosa, que diminui a densidade de corrente de elétrons entre o metal e os eletrólitos presentes na atmosfera. Os voláteis constituintes são compatíveis com os mais variados tipos de superfícies materiais e recobrimentos encontrados ao longo da linha de produção, garantindo a ação protetiva e com sua composição de desengraxe, a solução remove óleos e graxas das peças quando utilizado corretamente.

A exposição das peças à solução se dá geralmente por meio de banhos de jateamento ou imersão a 60°C aproximadamente. Tal temperatura se faz necessária para uma remoção mais rápida dos solventes, sem comprometimento algum na proteção. Caso necessário, a aplicação pode ser realizada à temperatura ambiente.

Com excelentes resultados nos mais variados setores industriais, a solução líquida de VCI garante a proteção integral das superfícies ao longo das operações de produção e nas etapas anteriores ao processo de embalagem além da limpeza pelo desengraxe.

07 - Assistência Técnica:

As informações dadas se baseiam em estudos atuais sobre nossos produtos, descrevendo-os do ponto de vista das exigências técnicas. Em caso de dúvidas, favor entrar em contato no telefone: (47) 9 9652-3235



End. Av. Edmundo Doubrawa, 570 Galpão 08
Zona Industrial Norte – Joinville – SC
CEP 89219-502 - Brasil