

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

MANUTENÇÃO APLICADA A TANQUES DE ARMAZENAMENTO DE COMBUSTÍVEIS –
VERIFICAÇÃO E RECUPERAÇÃO RELACIONADOS À CORROSÃO.

WALDERLANNE DA SILVA FERREIRA

São Luís, MA
2022.

WALDERLANNE DA SILVA FERREIRA

MANUTENÇÃO APLICADA A TANQUES DE ARMAZENAMENTO DE COMBUSTÍVEIS –
VERIFICAÇÃO E RECUPERAÇÃO RELACIONADOS À CORROSÃO.

Monografia apresentada à Coordenação do
Curso de Engenharia Mecânica - CCEM, da
Universidade Federal do Maranhão, como
requisito para obtenção do grau de Bacharel
em Engenharia Mecânica.

Orientadora:

Profa. Dra. Maria Eliziane Pires de Souza

São Luís, MA
2022.

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

da Silva Ferreira, Walderlanne.

MANUTENÇÃO APLICADA A TANQUES DE ARMAZENAMENTO DE
COMBUSTÍVEIS - VERIFICAÇÃO E RECUPERAÇÃO RELACIONADOS À
CORROSÃO / Walderlanne da Silva Ferreira. - 2022.

76 p.

Orientador(a): Maria Eliziane Pires de Souza.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica,
Universidade Federal do Maranhão, São Luís, MA, 2022.

1. Corrosão. 2. Manutenção. 3. Tanques de
Armazenamento. I. Pires de Souza, Maria Eliziane. II.
Título.

WALDERLANNE DA SILVA FERREIRA

MANUTENÇÃO APLICADA A TANQUES DE ARMAZENAMENTO DE COMBUSTÍVEIS –
VERIFICAÇÃO E RECUPERAÇÃO RELACIONADOS À CORROSÃO.

Monografia apresentada à Coordenação do
Curso de Engenharia Mecânica - CCEM, da
Universidade Federal do Maranhão, como
requisito para obtenção do grau de Bacharel
em Engenharia Mecânica.

São Luís, 19 de dezembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Maria Eliziane Pires de Souza
(Orientadora – CCEM/ UFMA)

Prof. Dr. Dalmo Inácio Galdez Costa
(Avaliador Interno à Banca – CCEM/ UFMA)

Prof. Dr. Andrei Bavaresco Rezende
(Avaliador Interno à Banca – CCEM/ UFMA)

DEDICATÓRIA

Dedico a minha mãe que sempre lutou comigo e nunca fez com que eu desistisse de conquistar todos os meus sonhos.

Agradecimentos

Agradeço a todos que não me fizeram desistir pelo meio do caminho e que desde quando escolhi seguir na carreira de mecânica, me apoiaram e me incentivaram a conquistar os meus objetivos. Agradeço especialmente a minha mãe Vanderlene que sempre foi um exemplo de mulher na minha vida, e que sempre buscou proporcionar o melhor a mim e ao meu irmão, incentivando sempre, criticando e chamando atenção de forma construtiva para que hoje eu estivesse aqui, tudo o que eu sou e conquistei, devo a você, ao meu irmão Fernando que mesmo de forma discreta, sempre me apoiou e me ajudou. A minha tia Sumaia que sempre buscou se importar com os meus estudos e ajudou da melhor forma possível para que eu pudesse estudar e conquistar os meus objetivos. A minha avó Maria Izidoria, que sempre me incentivou e apoiou. Agradeço também aos meus tios de parte de mãe Vanilda, Marcos e Nivaldo por sempre ajudarem da melhor forma possível.

Agradecimento especial aos meus amigos e irmãos, mesmo que não sejam de sangue, Carol e Guilherme, amigos de longa data que sempre me apoiaram durante toda essa trajetória, do ensino fundamental, a conquista do diploma de engenharia, vocês foram e sempre serão fundamentais na minha vida. A Fernandinha, por toda amizade de escola e sempre estar ao meu lado nos melhores e piores momentos.

Aos amigos que conheci durante a graduação, meu muito obrigado, por todas as noites lutando com o sono e tentando vencer cada disciplina desse curso, as notas baixas, as notas altas, os projetos e trabalhos, é amigos, parece que finalmente podemos dizer que vencemos na vida, especialmente Glaucia e Gabriel que nesses últimos anos foram fundamentais para que pudéssemos vencer cada etapa. A Daiana que foi um grande apoio para mim durante o curso de Ciência e Tecnologia, amizade que levarei para a vida. As meninas do projeto Baja, Emelly, Fernanda, Nádia e Rafa, vocês foram meu alívio cômico nesses dois últimos anos e de certa forma ajudar vocês a conquistarem pequenas lutas nas disciplinas, me fazia e me faz bem, ver vocês crescendo enquanto alunas e profissionais é gratificante.

Agradecimento especial aos engenheiros e colegas de profissão e trabalho Leonardo Santos e Brayan Beckman, por todo o apoio e material fornecido para o estudo dessa monografia, vocês foram peças fundamentais para que desse certo.

A Profa Dra. Maria Eliziane que embarcou nessa louca e prazerosa orientação e estudo, obrigada por toda atenção, reuniões tarde da noite e incentivo ao longo desses anos de curso, um dos motivos de ter escolhido esse tema e área na mecânica, foram às aulas e atenção especial com o aluno para que o aprendizado pudesse ser absorvido da melhor forma possível.

Enfim, obrigado a todos que passaram e contribuíram de forma direta ou indireta durante todos esses anos da minha vida.

“Não vale a pena mergulhar nos sonhos e esquecer de viver.”
Alvo Dumbledore.

Resumo

Este trabalho aborda todo o processo de manutenção de um tanque de armazenamento de combustível, desde as inspeções para realizar manutenções corretivas de corrosão ou mecânicas, até as preventivas e preditivas que são conhecidas como PIT, programa de integridade de tanques. Os vazamentos que podem ocorrer de tanques ocasionam prejuízos para vários setores como: ambiental, econômico, e até mesmo a saúde das pessoas que trabalham nas proximidades, uma vez que os compostos presentes nos combustíveis como benzeno e outros contaminam o solo e o ar. A corrosão é um processo natural nesses tanques, por se tratar de produto puro o processo na maioria das vezes se dá de uma forma mais rápida, sendo que o meio em que os tanques se encontram também influencia nessa velocidade do processo de corrosão. Locais próximos do mar e regiões que possuem muito vento fazem com que ocorra a corrosão biológica. O processo de degradação dos componentes metálicos de um tanque como chapas, flanges e válvulas, se dá de forma gradativa e dependendo do período de manutenção de forma mais agressiva e severa, o que pode ocasionar o merejamento entre flanges ou contaminação do solo. Para minimizar esses efeitos severos ou até realizar uma troca total dos componentes é necessário realizar inspeções visuais limpezas, ensaios não destrutivos e em casos urgentes realizar a aplicação do compósito *Glass Shield* para que o processo de corrosão dentro do tanque ocorra de forma mais lenta. Desta forma, o objetivo dessa monografia é acompanhar a manutenção em um tanque de armazenamento de S500 A, de maneira a investigar as diferentes formas de corrosão que foram encontradas durante a inspeção, bem como, entender os procedimentos e ações empregadas durante o processo de manutenção do tanque. O presente estudo foi enriquecedor, pois possibilitou visualizar na prática como a engenharia está presente em cada detalhe, identificando anomalias, os diferentes tipos de corrosão, a intensidade e severidade com relação a segurança, fazendo uso da aplicação de um revestimento compósito apropriado, sem prejudicar o meio ambiente e a segurança das operações.

Palavras-chave: Corrosão; Tanques de armazenamento; *Glass Shield*; Manutenção.

Abstract

This work approaches the entire maintenance process of a fuel storage tank, from inspections to carry out corrective corrosion or mechanical maintenance, also preventive and predictive which are known as TIP, tank integrity program. The leaks that can occur from tanks cause damage to various sectors such as: environmental, economic, and even the health of people who work nearby, since the compounds present in fuels such as benzene and others contaminate the soil and air. Corrosion is a natural process in these tanks, as it is a pure product, the process most often occurs faster, and the environment in which the tanks are located also influences the speed of the corrosion process. Locations close to the sea and regions that have a lot of wind cause biological corrosion. The degradation process of the metallic components of a tank such as plates, flanges and valves, takes place gradually and depending on the maintenance period, in a more aggressive and severe way, which can cause desquamation between flanges or soil contamination. To minimize these severe effects or even perform a complete replacement of the components, it is necessary to carry out visual inspections, cleaning, non-destructive tests and, in urgent cases, apply the *Glass Shield* composite so that the corrosion process inside the tank occurs more slowly. In this way, the objective of this monograph is to follow the maintenance in a storage tank of S500 A, in order to investigate the different forms of corrosion that were found during the inspection and also to understand the procedures and actions used during the tank maintenance process. The present study was enriching, as it made it possible to visualize in practice how engineering is present in every detail, identifying anomalies, the different types of corrosion, the intensity and severity with regard to safety, making use of the application of an appropriate composite coating, without harming the environment and the safety of operations.

Keywords: Corrosion; Storage tanks; *Glass Shield*; Maintenance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Principais componentes de um tanque.	21
Figura 2 - Tanques de armazenamento de teto cônico.	22
Figura 3 - Tanques de armazenamento de teto curvo.	22
Figura 4 - Tanques de armazenamento de teto em gomos.	23
Figura 5 - Respiro de um tanque.	29
Figura 6 - Válvula de pressão e vácuo.	29
Figura 7 - Sifão de um tanque de armazenamento.	30
Figura 8 - Boca de visita do costado	30
Figura 9 - Boca de visita do teto	31
Figura 10 - Câmara de espuma de um tanque.	31
Figura 11 - Corrosão em placas de aço carbono de costado de tanque.	33
Figura 12 - Ilustração da distribuição típica dos anodos no fundo dos equipamentos.	37
Figura 13 - Borra oleosa.	43
Figura 14 - Corrosão no guarda corpo da plataforma.	48
Figura 15 - Perda de seção metálica no guarda corpo.	49
Figura 16 - Corrosão do guarda corpo do passadiço.	49
Figura 17 - Corrosão em placas da estrutura do guarda corpo.	50
Figura 18 - Vista da corrosão na passarela.	50
Figura 19 - Corrosão severa em vários pontos na escada.	51
Figura 20 - Vista da degradação da plataforma.	51
Figura 21 - Junta soldada do costado.	52
Figura 22 - Detalhe da pintura com corrosão.	53
Figura 23 - Desprendimento da pintura.	53
Figura 24 - Aspecto típico do processo corrosivo nas chapas de fundo.	54
Figura 25 - Vista das chapas laterais.	54
Figura 26 - Corrosão de média intensidade na tubulação de entrada.	54
Figura 27 - Corrosão de média intensidade nas vigas radiais.	55
Figura 28 - Vista da boca de visita.	56
Figura 29 - Detalhe da corrosão no flange.	56
Figura 30 - Corrosão na válvula da conexão de saída.	57
Figura 31 - Vista da corrosão na válvula da conexão de saída.	57
Figura 32 - Corrosão por fresta no flange.	59
Figura 33 - Corrosão por fresta, ataque severo.	59
Figura 34 - Corrosão por placas no travessão.	60
Figura 35 - Corrosão severa por placas no parafuso.	60
Figura 36 - Corrosão por placas em válvula gaveta.	61
Figura 37 - Corrosão severa por placas no respiro obstruindo a passagem de ar.	61
Figura 38 - Corrosão alveolar de média intensidade nas chapas centrais de fundo.	62
Figura 39 - Agrupamento de alveolos generalizado com perda de massa.	62
Figura 40 - Corrosão alveolar generalizada severa.	62
Figura 41 - Corrosão alveolar severa.	63
Figura 42 - Vista do fundo do tanque.	63
Figura 43 - Vista das descontinuidades no fundo do tanque.	64

Figura 44 - Presença de óleo durante a inspeção.	65
Figura 45 - Jateamento abrasivo.	66
Figura 46 - Aplicação da camada de Ecoprimer D no costado e chapas de fundo.	67
Figura 47 - Aplicação da camada de Ecoprimer D.	67
Figura 48 - Mistura da resina e cargas minerais para formação da massa polimérica.	68
Figura 49 - Aplicação da camada base.	69
Figura 50 - Aplicação da camada de reforço.	70
Figura 51 - Processo de execução fazendo a aplicação com a fibra de vidro.	70
Figura 52 - Processo final após o revestimento de reforço.	71
Figura 53 - Execução do acabamento final na cor salmão.	71
Figura 54 - Execução do acabamento final na cor violeta.	72
Figura 55 - Execução do acabamento final nas bocas de visita.	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Recomendações de tipos usuais de tanques.	25
Quadro 2 - Classificação de risco.	47
Quadro 3 - Espessuras encontradas.	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
API	American Petroleum Institute
ASTM A-36	American Society for Testing and Materials A-36
ASTM A-53	American Society for Testing and Materials A-53
ASTM A-105	American Society for Testing and Materials A-105
ASTM A-181	American Society for Testing and Materials A-181
ASTM A-193	American Society for Testing and Materials A-193
ASTM A-194	American Society for Testing and Materials A-194
ASTM A-285	American Society for Testing and Materials A-285
ASTM A-516	American Society for Testing and Materials A-516
ISO 8501-1	International Organization for Standardization 8501-1
MFL	Magnetic Flux Leakage
N-270	Projeto de Tanque de Armazenamento Atmosférico
NBR- NB143	Norma Brasileira Regulamentadora: Cálculo de estruturas de aço
NBR- 5462	Norma Brasileira Regulamentadora: Confiabilidade e Mantabilidade.
NBR- 6109	Norma Brasileira Regulamentadora: Cantoneiras de abas iguais, de aço, laminadas.
NBR-6321	Norma Brasileira Regulamentadora: Tubos de aço-carbono sem solda, para serviços em altas temperaturas.
NBR-6351	Norma Brasileira Regulamentadora: Perfil U de abas inclinadas.
NBR-6352	Norma Brasileira Regulamentadora: Cantoneiras de abas

	desiguais, de aço, laminadas a quente.
NBR-7007	Norma Brasileira Regulamentadora: Aço carbono e aço microligado para barras e perfis laminados a quente para uso estrutural.
NBR-7012	Norma Brasileira Regulamentadora: Perfis I de abas inclinadas, de aço laminados.
NBR-7821	Norma Brasileira Regulamentadora: Tanques soldados para armazenamento de petróleo e derivados.
RBM	Manutenção baseada na confiabilidade
RCM	Manutenção centralizada na confiabilidade
TPM	Manutenção Produtiva Total

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. JUSTIFICATIVA	19
3. OBJETIVOS	20
3.1 Objetivo Geral	20
3.2 Objetivos Específicos	20
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
4.1 TANQUES DE ARMAZENAMENTO	21
4.1.1 Classificação dos Tanques de Armazenamento	21
4.1.2 Seleção do Tipo de Tanque de Armazenamento em Função do Produto Armazenado	24
4.1.3 Normas de Construção	26
4.1.4 Materiais de Construção	27
4.1.5 Métodos de Inspeção e Testes	28
4.2 CORROSÃO	32
4.2.1 Formas de Corrosão	32
4.2.2 Corrosão Associada ao Diesel	34
4.2.3 Corrosão Associada ao Biodiesel e Suas Misturas ao Diesel	34
4.2.4 Controle da Corrosão	35
4.3 MANUTENÇÃO	38
4.3.1 Histórico da Manutenção	38
4.3.2 Tipos de Manutenção	39
4.3.3 Manutenção em Tanques de Armazenamento	42
4.4 Métodos de Inspeção	44
4.5 Ensaios Aplicados	45
5. METODOLOGIA APLICADA.	46
6. RESULTADOS DO ACOMPANHAMENTO DA MANUTENÇÃO E VISTORIA.	47
5.1 Inspeção Geral de segurança	47
5.2 Tipos de corrosão encontradas durante inspeção	57
5.3 Inspeção em chapas do fundo por MFL	63
5.4 Aplicação do Revestimento Anticorrosivo – Glass Shield.	65
7. CONCLUSÃO	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

1. INTRODUÇÃO

Os tanques de armazenamento são equipamentos de caldeiraria pesada, sujeitos à pressão aproximadamente atmosférica e destinados, principalmente, ao armazenamento de petróleo e seus derivados. Atualmente, os tanques de armazenagem são construídos numa ampla faixa de capacidade desde 16 m³ a 95.400 m³. O projeto de um tanque leva em conta um material de alta resistência mecânica e uma elevada tenacidade (BARROS,2009).

Detectar vazamentos em tanques e tubulações é um processo difícil, que necessita das devidas manutenções e inspeções no tempo correto. Além disso, as manutenções preventivas e preditivas são de suma importância para que não ocorra comprometimento das operações como a ocorrência de furos e derrames de produtos no meio ambiente, principalmente nas chapas de fundo que são as mais expostas à ação dos produtos puros armazenados sejam eles quais forem. Outro exemplo de problema está na face externa que é exposta à corrosão atmosférica, corrosão pelo solo e dependendo da localização do tanque, este pode estar exposto a minério de ferro e salinidade do mar.

Os processos de corrosão são considerados reações químicas heterogêneas ou reações eletroquímicas que se passam geralmente na superfície de separação entre o metal e o meio corrosivo. Sendo que a corrosão pode ocorrer de formas diferentes, considerando a aparência ou forma de ataque, sendo elas: a morfologia, as causas ou mecanismos, os fatores mecânicos, o meio corrosivo e a localização do ataque. Em materiais metálicos devem ser consideradas as variáveis do meio corrosivo e das condições operacionais. Dentre as variáveis que devem ser consideradas estão: o material metálico no que tange a sua composição química, presença de impurezas em sua constituição, contato com outros materiais, dentre outras; O meio corrosivo em termos de sua composição química, pH, temperatura, teor de oxigênio e as condições operacionais como as solicitações mecânicas, meios de proteção contra a corrosão, dentre outras (GENTIL,1996).

A corrosão em chapas de fundo de tanques de armazenamento de combustíveis se dá através de mecanismos simultâneos de corrosão, porém são mecanismos independentes um do outro. Na face superior a chapa fica em contato com o produto, onde pode ocorrer corrosão pelo petróleo, pela água e alguns sedimentos com a presença de sais e ácidos, bem como corrosão microbiológica dentre outras. A face

oposta do tanque está em contato com o solo, o que leva à corrosão pelo solo e atmosférica, por conta da localidade, existem poucas formas de minimizar os efeitos da corrosão, sendo uma dessas formas a impermeabilização da base do equipamento ou da operação catódica por corrente impressa (DA COSTA, 2014).

Os tanques são empregados em um período de operação contínua e passam por manutenção entre 10 e 20 anos, essa manutenção acontece de forma geral, sendo fundamental que os procedimentos de segurança sejam seguidos para que o tanque possa ser seco e limpo. Durante a inspeção é necessário utilizar um equipamento chamado explosímetro, o equipamento detecta a presença de gases combustíveis e faz a medição dos mesmos. Ao se realizar tais procedimentos têm-se uma visualização da face superior da chapa, para a inspeção da face inferior geralmente é realizada através da remoção de discos das chapas de fundo, além disso, é realizada uma medição de espessura através de ultrassom (DA COSTA, 2014).

O uso de combustíveis que são derivados do petróleo como o Diesel S500, Diesel S10, Gasolina, e os biocombustíveis como o Etanol em máquinas e equipamentos implica no contato dos mesmos com diversos materiais metálicos, fazendo com que ocorra a corrosão metálica. A corrosão metálica é responsável por enormes prejuízos, sendo que pode ser conceituada como uma transformação de um material metálico ou liga metálica pela sua interação química ou eletroquímica, num determinado meio de exposição, o que acaba resultando na formação de produtos de corrosão e na liberação de energia (SILVA, 2016).

Os tanques de combustíveis usualmente são constituídos por chapas de aço carbono, pois além de ser um material barato, o mesmo possui uma melhor resistência, é de fácil obtenção, processamento e soldabilidade. O ataque de corrosão a esse material é derivado de gases como dióxido de carbono, gás sulfídrico em combinação com vapor de água e o líquido armazenado, além de outros fatores (AMBROZIN, 2009).

A proteção anticorrosiva é necessária e de grande importância para evitar que o tanque e o fluido fiquem inadequados ao uso dentre os métodos de proteção anticorrosivas, têm-se a pintura industrial que quase sempre emprega as tintas à base de resina epóxi que são de fácil aplicação, manutenção e custo benefício interessante. O mecanismo anticorrosivo da tinta está baseado na sua ação como uma barreira entre o meio e o substrato metálico impedindo assim a troca de elétrons e íons entre os mesmos, dificultando os processos corrosivos (AMBROZIN, 2009).

O presente trabalho avalia a ocorrência de corrosão nas chapas de fundo e do costado de dois tanques de armazenamento de combustíveis, com o emprego da técnica de inspeção não destrutiva de detecção de campo de fundo, sendo conhecida pela sigla MFL do inglês Magnetic Flux Leakage.

A técnica consiste na magnetização da região de interesse de inspeção e no tratamento da perturbação do sinal do campo magnético ocasionado pelas descontinuidades, incluindo as perdas de espessura por corrosão (DA COSTA,2014).

Ademais, o trabalho averigua a forma de manutenção aplicada aos tanques e o método de solução aplicado, que consiste na aplicação do *Glass Shield*, que é um material compósito, que forma uma camada protetora nas chapas em que foram detectados os processos de corrosão mais profundos e avançados das chapas.

2. JUSTIFICATIVA

No cenário atual, nas indústrias e petrolíferas não existe espaço para imprevisto e arranjos, ou seja, a competência, velocidade, cultura de mudança são características básicas das empresas e organizações. Nesse sentido, a manutenção existe para que não haja paradas inesperadas, ou melhor, estamos falando da manutenção corretiva não planejada. No contexto atual uma nova estratégia está sendo aplicada e praticada, são os chamados contratos de parceria baseados em disponibilidade e confiabilidade (JÚNIOR, 2015).

Atualmente a missão da manutenção está baseada na garantia da confiabilidade e a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou serviço, com segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados (JÚNIOR, 2015).

Em um terminal de combustível faz-se necessário dar uma importância maior a manutenção, principalmente devido à corrosão ocasionada nos tanques, que pode levar a vazamentos de produtos perigosos que estão armazenados em grande quantidade, e que são prejudiciais ao meio ambiente.

Produtos como óleo diesel, gasolina, querosene são armazenados antes de seu processamento e/ou distribuição. Em função disso, os tanques de armazenamento são de grande importância. Devido à baixa corrosividade dos produtos armazenados, a corrosão externa dos tanques é vista como a principal responsável pelos problemas apresentados e que podem comprometer a integridade da estrutura (LEITE, 2012).

Sendo assim, o acompanhamento da integridade de um tanque é de fundamental importância para aumentar a confiabilidade e segurança nos processos operacionais, a gestão da manutenção é crucial, garantindo assim, respostas rápidas em situações de emergência e possíveis acidentes ambientais.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Realizar estudo de caso, aplicado a um tanque de armazenagem de óleo diesel para acompanhamento das etapas de aplicação do *Glass Shield*, em decorrência do processo avançado de corrosão encontrado através do método MFL.

3.2 Objetivos Específicos

- Acompanhamento do método de manutenção aplicado a corrosão do fundo e costado do tanque;
- Analisar de forma teórica os tipos de corrosão encontrados;
- Estudo e acompanhamento das etapas de aplicação do Glass Shield;
- Análise da integridade antes e depois da manutenção realizada.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

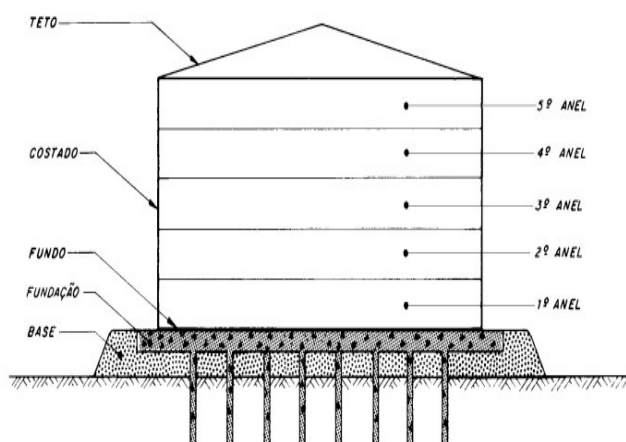
4.1 TANQUES DE ARMAZENAMENTO

Os tanques de armazenamento são recipientes destinados ao armazenamento de fluidos à pressão atmosférica e a pressões superiores à atmosférica. Os mesmos possuem dimensões variadas, desde pequenos tanques com 2 m de diâmetro a grandes tanques que podem ter mais de 50 m de diâmetro (FIMACO, 2022).

Segundo Barros (2009), a construção de um tanque de armazenamento é regulado pela norma americana API 650 “Welded Steel Tanks for OilStorage” do American Petroleum Institute (API). No Brasil utiliza-se a norma NBR 7821 “Tanques Soldados para Armazenamento de Petróleo e Derivados”.

Os principais componentes de um tanque de armazenamento estão representados na Figura 1 (BARROS, 2009).

Figura 1 - Principais componentes de um tanque.



Fonte: Barros (2009).

4.1.1 Classificação dos Tanques de Armazenamento

Segundo a NBR-7821 (1983), os tanques de armazenamento podem ser classificados como:

- Tanques Sem Teto

São equipamentos estáticos os quais apresentam exposição de produto ao ambiente, deste modo, o produto estocado geralmente não deverá provocar contaminação da atmosfera local (VIDAL,2020).

- Tanques de Teto Fixo

Segundo Barros (2009), são tanques em que os tetos estão diretamente ligados à parte superior de seus costados e dependendo da forma do seu teto fixo, podem ser distinguidos da seguinte forma:

- a) Teto Cônico (Cone Roof): apresenta a forma de um cone reto. A Figura 2, apresenta esse tipo de tanque.

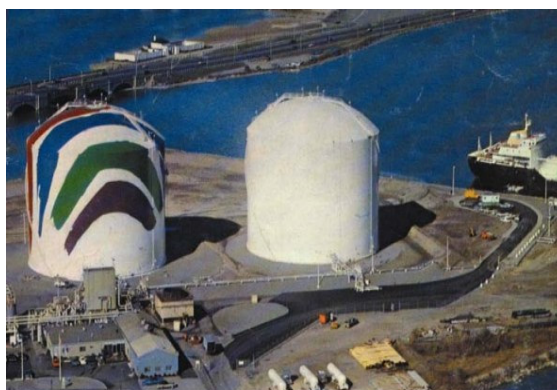
Figura 2 - Tanques de armazenamento de teto cônico.



Fonte: Barros (2009).

- b) Teto Curvo (Dome Roof): apresenta a forma aproximada de uma calota esférica. A Figura 3, apresenta esse tipo de tanque.

Figura 3 - Tanques de armazenamento de teto curvo.

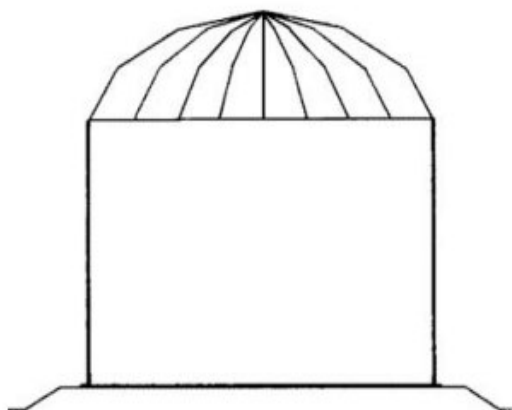


Fonte: Barros (2009).

- c) Teto em Gomos (UmbrellaRoof): esse tipo de tanque é uma modificação do teto curvo, no qual qualquer seção horizontal terá a forma de um polígono

regular com número de lados igual ao número de chapas utilizadas nesta região do teto. A Figura 4 apresenta um esquema ilustrativo desse tipo de tanque.

Figura 4 - Tanques de armazenamento de teto em gomos.



Fonte: Barros (2009).

- Tanques de Teto Flutuante

Segundo Barros (2009), os tetos estão diretamente apoiados na superfície do líquido armazenado, no qual flutuam, acompanhando sua movimentação durante os períodos de esvaziamento e enchimento, sendo utilizados com o objetivo de minimizar as perdas por evaporação devido à movimentação do produto.

O sistema de selagem que existe na extremidade do teto e em contato com o costado do tanque bloqueia significativamente a perda de produto por evaporação, ao mesmo tempo, permite a flutuação do teto sobre o líquido (VIDAL,2020).

O teto flutuante externo apresenta os seguintes tetos construtivos:

- a) Teto Flutuante Simples: Consiste de um lençol de chapas. É o tipo mais simples e de construção mais barata. A flutuabilidade nesse tipo de tanque é precária, apresenta maior perda por evaporação.
- b) Teto Flutuante com Flutuador na Periferia: Possui na construção convencional, um disco central e um flutuador na periferia do teto, apresenta maior flutuabilidade e menor perda de evaporação, além disso, em comparação ao tipo anterior, apresenta um maior custo.
- c) Teto Flutuante Duplo: Possui dois lençóis de chapas ligados, internamente, por uma estrutura metálica formando compartimentos estanques, é de excelente flutuabilidade, sendo o tipo de teto mais caro, apresentando uma menor perda de evaporação.

4.1.2 Seleção do Tipo de Tanque de Armazenamento em Função do Produto Armazenado

Segundo Barros (2009) a seleção consiste em levar algumas considerações como: condições ambientais, segurança operacional, custo do equipamento e perdas operacionais.

A norma N-270 (2007) foi desenvolvida por grupos de trabalho da Petrobrás e subsidiárias, sendo elaborada para fixar as condições de trabalho para todo projeto mecânico dos tanques de superfície (FIMACO,2022).

O quadro 1 a seguir, retirado da Norma N- 270 (2007), ilustra a seleção dos produtos de acordo com o tanque.

Quadro 1- Recomendações de tipos usuais de tanques.

Produto Armazenado	Tipo de Tanque (Selecionado Conforme o Projeto) [Prática Recomendada]
Produtos leves da faixa de gasolina e nafta leve. Petróleo cru.	- tanque atmosférico de teto flutuante externo; - tanque atmosférico de teto fixo com teto flutuante interno; - tanque atmosférico para pequena pressão interna, segundo a norma API STD 650 Appendix F; - tanque para baixa pressão de teto cônico, segundo a norma API STD 620.
Gasolina de aviação (GAV).	- tanque atmosférico de teto fixo com teto flutuante interno; - tanque atmosférico para pequena pressão interna, segundo a norma API STD 650 Appendix F; - tanque para baixa pressão de teto cônico, segundo a norma API STD 620.
Álcool etílico hidratado. metanol.	- tanque atmosférico de teto flutuante externo; - tanque atmosférico de teto fixo com teto flutuante interno.
Biodiesel.	- tanque atmosférico de teto fixo com teto flutuante interno; - tanque atmosférico para pequena pressão interna, segundo a norma API STD 650 Appendix F.
Álcool etílico anidro.	- tanque atmosférico de teto fixo com teto flutuante interno.
Óleo diesel classes I e II.	- tanque atmosférico de teto flutuante externo; - tanque atmosférico de teto fixo com teto flutuante interno.
Querosene de aviação (QAV).	- tanque atmosférico de teto fixo; - tanque atmosférico de teto fixo com teto flutuante interno.
Produtos da faixa de querosene ou mais pesados, tais como: a) nafta pesada; b) querosene; c) óleo diesel classe III; d) resíduo de vácuo; e) diesel do FCC ("cycle-oil"); f) óleo combustível; g) resíduos ("slop"); h) óleo lubrificante; i) "flushing-oil"; j) asfalto e cimento asfáltico; k) lastro de navio.	- tanque atmosférico de teto fixo.
Água bruta.	- tanque sem teto.

Fonte: (N-270,2007).

4.1.3 Normas de Construção

Para a construção de tanques as seguintes normas são adotadas (Barros,2009):

- a) API Standard 650 “Welded Steel Tanks For Oil Storage” do American Petroleum Institute

Abrange especificações sobre material, projeto, fabricação, montagem e testes de tanques de armazenamento verticais, cilíndricos, não enterrados, com o topo fechado ou aberto, de construção soldada com várias dimensões e capacidades, para serviço não refrigerado, com temperatura de projeto máxima de 260°C e pressão interna aproximadamente atmosférica.

- b) NBR 7821 “Tanques Soldados para Armazenamento de Petróleo e Derivados” da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

O objetivo da NBR 7821 é estabelecer as exigências mínimas que devem ser seguidas para materiais, fabricação, montagem e testes de tanques de aço-carbono, soldados, cilíndricos, verticais, não enterrados, com teto fixo ou flutuante que são destinados ao armazenamento de petróleo e seus derivados líquidos.

- c) API Standard 2000 “Venting Atmospheric and Low - Pressure Storage Tanks (Non- Refrigerated and Refrigerated)” do American Petroleum Institute.

Especifica os requisitos normais e de emergência para tanques de armazenamento, não enterrados, de petróleo e seus derivados líquidos ou para tanques de armazenamento refrigerado, enterrados ou não, de hidrocarbonetos líquidos.

- d) API Specification 12A “Specification for Oil Storage Tanks with Riveted Shells” do American Petroleum Institute.

Aponta os requisitos para materiais, projeto, fabricação e montagem de tanques de aço, verticais, cilíndricos, não enterrados, com costado rebitado.

- e) API Specification 12B “Specification for Bolted Tanks for Storage of Production Liquids” do American Petroleum Institute.

Especifica os requisitos para materiais, projeto, fabricação e montagem de tanques de aço, verticais, cilíndricos, não enterrados, com o costado aparafusado, sujeitos a uma pressão aproximadamente atmosférica e destinados a serviços em regiões de produção.

- f) N-270 “Projeto de Tanque de Armazenamento Atmosférico” da Comissão de Normas Técnicas da Petrobras.

Fixa as condições exigíveis para o projeto mecânico de tanque de superfície, para armazenamento de petróleo, seus derivados líquidos e outros produtos líquidos, tais como: álcool, água, biodiesel etc. Esses tanques são metálicos, de fabricação e montagem soldada, cilíndrico-vertical, com teto fixo, teto flutuante externo, teto fixo com flutuante interno ou sem teto.

4.1.4 Materiais de Construção

A norma NBR-7821 (1983) padroniza os materiais a serem utilizados para a construção dos tanques, são eles:

- Chapas

As chapas a serem utilizadas devem estar de acordo com as especificações, modificações e limites indicados de acordo com a norma, são elas: (Barros,2009)

a) Chapas Grossas: Com espessura igual ou superior a $\frac{1}{4}$ ”.

b) Chapas Finas: Com espessura inferior a $\frac{1}{4}$ ”.

- Perfis de Aço Laminado

Segundo a NBR- 7821 (1983), os perfis de aço laminado para fins estruturais devem estar de acordo com as normas NBR-6109, NBR-6351, NBR-6352, NBR-7007, NBR-7012, NB-143, todas da ABNT e ASTM A-36.

- Tubos

NBR- 7821 (1983), os pescoços das conexões ligadas a qualquer tubulação devem ser fabricados com materiais que satisfaçam às especificações relacionadas a seguir:

a) Tubos de diâmetro externo até 273 mm: ASTM A-53 ou NBR-6321

b) Tubos de diâmetro externo maior do que 273 mm: ASTM A-285 Grau C, ASTM A-516

c) As luvas devem ser de aço forjado, conforme as especificações da ASTM A-181 ou A-105.

- Flanges

NBR- 7821 (1983), os flanges e bocais ligados a qualquer tubulação, quando forjados, devem corresponder às exigências da especificação ASTM A-181.

- Parafusos e Porcas

NBR- 7821 (1983), os parafusos e porcas usados para unir tubulações devem estar de acordo com a ASTM A-193 e ASTM A-194.

4.1.5 Métodos de Inspeção e Testes

Durante a montagem de um tanque, o controle da qualidade das juntas soldadas do equipamento é realizado usando os seguintes métodos e inspeções (Barros,2009):

- a) Método da inspeção visual: Todas as soldas do costado devem ser inspecionadas visualmente.
- b) Método da Inspeção Radiográfica: Deve ser realizada somente nas juntas soldadas do topo, onde forem exigidas fusão e penetração completas. Desta forma, a inspeção radiográfica é requerida nas soldas de topo do costado, nas soldas de topo das chapas anulares e nas soldas de topo das conexões do tipo sem ressalto.
- c) Método de Inspeção por Seccionamento: É um método destrutivo de inspeção das juntas soldadas. Consiste na retirada de corpos de prova, por trepanação, contendo partes de ambas as chapas da junta soldada. Depois da retirada, os corpos de prova são tratados quimicamente e examinados para verificação da existência de defeitos.
- d) Método da Inspeção por Ultra-Som: Consiste na inspeção de juntas soldadas com espessura da chapa mais fina da união soldada, igual ou superior a 10 mm.
- e) Ensaio de Estanqueidade: A função única desse ensaio é a detecção de eventuais vazamentos, não visando à análise da resistência mecânica, deformação ou recalques estruturais.
- f) Teste Hidrostático: Todos os tanques devem ser testados hidrostaticamente. Esse teste visa verificar a estanqueidade das soldas do costado e a qualidade da fundação do equipamento, visa, também, para os tanques de teto flutuante, verificar a flutuabilidade do teto. Normalmente esse teste requer uma grande quantidade de água, cujo fornecimento deve ser previsto com antecedência. O emprego de água salgada não é recomendável, pois poderá provocar severa corrosão interna do equipamento.

4.1.6 Principais Acessórios

Dentre os acessórios predominantes em tanques de armazenamentos, temos:

- **Respiro:** Em tanques de teto fixo existe uma conexão no teto, a mesma pode ser com ou sem válvula, aberta para a atmosfera, seu objetivo é evitar a formação de vácuo durante as operações de esvaziamento ou sobrepressão, durante as descargas de produto (Oliveira,2009).A Figura 5 abaixo mostra um respiro localizado em cima de um tanque.

Figura 5 - Respiro de um tanque.



Fonte: (Oliveira,2009).

- **Válvula de pressão e vácuo:** Tem a função de evitar a formação de vácuo,a mesma pode atuar durante operações de enchimento ou esvaziamento ou quando têm-se variações de temperatura (Oliveira,2009).A mesma é apresentada abaixo na Figura 6.

Figura 6 - Válvula de pressão e vácuo.



Fonte: (Oliveira,2009).

- Sistema de drenagem do tanque: Existem dois tipos, são eles:
 - Dreno de sifão;
 - Dreno por baixo.

A Figura 7 apresenta um sifão os do tipo de dreno por baixo não são mais recomendados por questões de risco de entupimento, dificuldade de inspeção, e possibilidade de trincas se o mesmo for aquecido (Oliveira,2009).

Figura 7 - Sifão de um tanque de armazenamento.



Fonte: (Oliveira,2009).

- Bocais: Em tanques os mesmo possuem as seguintes finalidades:
 - Movimentação de produto;
 - Sistema de drenagem;
 - Sistema de combate a incêndio
- Bocas de visita do costado: Devem ser construídas na direção do vento, facilitando o arejamento do tanque durante as paradas de manutenção (Oliveira,2009). A Figura 8 abaixo apresenta uma boca de visita fechada durante operação.

Figura 8 - Boca de visita do costado



Fonte: (Oliveira,2009).

- Bocas de visita do teto: Todo tanque deve apresentar pelo menos uma boca de visita no teto com as finalidades de ventilação, iluminação, acesso ao interior do equipamento (Oliveira,2009).A Figura 9 mostra boca de visita localizada no teto do tanque.

Figura 9 - Boca de visita do teto



Fonte: (Oliveira,2009).

- Plataformas, passadiços e escadas: Os tanques devem ter sua própria escada de acesso ao topo, as escadas devem ser do tipo helicoidal, onde passadiços de ligação, lances de escadas, plataformas do topo, devem ser construídos com material antiderrapante (Oliveira,2009).
- Câmara de espuma: Os tanques devem ter um sistema fixo de proteção contra incêndio, para os tanques de teto fixo a proteção deve ser realizada por meio da câmara, com selo de vidro (Oliveira,2009). A Figura 10 apresenta um modelo de câmara de espuma, equipamento indispensável em questões de segurança.

Figura 10 - Câmara de espuma de um tanque.



Fonte: (Oliveira,2009).

4.2 CORROSÃO

A corrosão é definida como a deterioração de materiais em peças ou equipamentos sejam eles tanques, dutos, estruturas metálicas, etc, ocorrendo pela ação química ou eletroquímica do meio (SILVA,2016).

Geralmente é um processo espontâneo, onde está regularmente transformando materiais metálicos de modo que a durabilidade e desempenho deixam de satisfazer os fins a que se destinam. Esse tipo de problema ocorre em inúmeras atividades, por exemplo, em indústrias química, petrolífera, naval, petroquímica, e em meios de transporte aéreo, ferroviário, marítimo, instalações industriais e etc(SILVA,2016).

Devido a problemas ocasionados pela corrosão nas atividades industriais, dois tipos de perdas econômicas podem ser definidos (Gentil, 1996), são elas:

- a) Perdas diretas: custos de substituição de peças ou equipamentos que sofrem corrosão; custos e manutenção dos processos de proteção.
- b) Perdas indiretas: perdas de eficiência em motores de combustíveis, por exemplo; incrustações nas superfícies de aquecimento de caldeiras; entupimento ou perda de carga em tubulações de água, etc.

Segundo Gentil (1996),

“Corrosão em tanques de combustíveis de gasolina, álcool e óleo diesel, enterrados, pode originar perfurações e consequentes vazamentos desses combustíveis, possibilitando riscos de incêndio e explosões. Além disso, pode ocasionar contaminação de poços subterrâneos de água, daí a razão de a EPA (Environmental Protection Agency, EUA), estabelecer exigências rigorosas de proteção como proteção catódica, revestimento e monitoração de vazamento.”

4.2.1 Formas de Corrosão

A corrosão pode se apresentar de diferentes maneiras, sendo que a classificação desse fenômeno pode ser dada considerando a aparência ou forma de ataque, além das diferentes causas de corrosão e seus mecanismos (GENTIL,1996).

Segundo Gentil (1996), as principais formas de corrosão são:

- a) Uniforme: a corrosão se processa em toda a extensão da superfície, ocorrendo perda uniforme de espessura. É chamada por alguns de corrosão generalizada.
- b) Por placas: a corrosão se localiza em regiões da superfície metálica e não em toda a sua extensão, formando placas com escavações, como é mostrado na Figura 11.
- c) Alveolar: corrosão se processa na superfície metálica produzindo sulcos ou escavações semelhantes a alvéolos, apresentando fundo arredondado e profundidade geralmente menor que seu diâmetro.
- d) Puntiforme ou por pite: a corrosão se processa em pontos ou em pequenas áreas localizadas na superfície metálica produzindo pite, que cavidades que apresentam o fundo em forma angulosa e profundidade geralmente maior que seu diâmetro.
- e) Intergranular: a corrosão se processa entre os grãos da rede cristalina do material metálico, o qual perde suas propriedades mecânicas.
- f) Intragranular: a corrosão se processa nos grãos da rede cristalina do material metálico.

Figura 11 - Corrosão em placas de aço carbono de costado de tanque.



Fonte: Gentil (1996).

4.2.2 Corrosão Associada ao Diesel

O diesel é um combustível derivado do petróleo, atualmente há uma tendência mundial do seu uso em mistura com alguns biocombustíveis, tais como etanol e biodiesel. A degradação microbiana do diesel e outros combustíveis constituídos por hidrocarbonetos é a principal causa da corrosão de gasodutos (AMBROZIN,2009).

A corrosão microbiana causa enormes prejuízos econômicos, alterando a qualidade do combustível e prejudicando a produção, estocagem e qualidade dos mesmos. Em geral, os principais micro-organismos associados com esse tipo de corrosão são bactérias anaeróbicas redutoras de sulfato, bactérias aeróbicas e fungos (AMBROZIN,2009).

A natureza da corrosão do diesel pode se agravar em casos onde haja resíduos de água ou ácidos graxos que são resultantes do processo de transesterificação. Os processos de auto-oxidação que ocorrem devido a baixa estabilidade oxidativa do biodiesel alteram as propriedades iniciais do combustível, e isso leva a um aumento da capacidade de corroer equipamentos e estruturas metálicas (MATOS, 2013).

De acordo com Matos (2013), os microrganismos presentes em combustíveis e biocombustíveis atuam na superfície metálica produzindo substâncias corrosivas decorrentes do seu metabolismo. A variedade de ambientes propícios para o crescimento de bactérias permite que um grande número de peças metálicas sofra esse processo.

4.2.3 Corrosão Associada ao Biodiesel e Suas Misturas ao Diesel

O biodiesel é um combustível alternativo ao de origem fóssil, é renovável e biodegradável o uso do mesmo gera uma série de benefícios, tais como o aumento no número de empregos e melhora da economia, diminuição da dependência de importação de combustível, redução da poluição e etc. Todavia a utilização do biodiesel implica no contato direto entre o combustível e os componentes metálicos utilizados em sistemas de transporte e armazenamento, o que pode levar a corrosão (MATOS,2013).

De acordo com Ambrozín (2009), a utilização de biodiesel possui diversas vantagens, em especial a questões técnicas e ambientais. Em virtude do mesmo ser relativamente inerte e imiscível com água, sua corrosividade poderia ser considerada baixa. Entretanto, ele possui baixa estabilidade oxidativa e hidrolítica, que alteram seu

padrão de qualidade e aumentam a sua ação corrosiva. Ele oxida quando exposto ao ar e às altas temperaturas, formando ácidos orgânicos e hidroperóxidos, que prejudicam a qualidade do produto e promovem processos corrosivos.

O biodiesel é 30 vezes mais higroscópico do que o diesel. A água absorvida pode agir diretamente sobre a corrosão dos materiais, causando reações de hidrólise do biodiesel aumentando, por consequência, a corrosão metálica, e promovendo assim o crescimento microbiano, e consequentemente, a corrosão microbiana (AMBROZIN,2009).

De acordo com Aquino (2012), a corrosão do biodiesel depende da matéria prima de sua origem, além de que, a presença de íons metálicos ocasionados pela corrosão pode catalisar reações indesejáveis, o que acaba levando a instabilidade e degradação do biodiesel, além disso, a composição do mesmo influencia diretamente na resistência à corrosão dos metais presentes no circuito de combustíveis.

4.2.4 Controle da Corrosão

De acordo com Silva (2016), o controle da corrosão abrange todas as ações e medidas tomadas em cada etapa do projeto, como escolha do material, o meio em que se encontra a peça ou equipamento. Assim pode-se usar métodos de proteção anticorrosivo que possam promover a passivação ou polarização do material.

Gentil (1996) classifica os métodos de controle da corrosão das seguintes formas:

- a) Não-destrutivos: indispensáveis para indicar a presença de ataque, fissuras, trincas, reduções de espessura de parede, vazamentos e etc. Dentre os exemplos mais comuns nas petroquímicas, pode-se citar o ultrassom, emissão acústica, radiografia, líquido penetrante, termografia, etc.
- b) Analíticos: são úteis para casos de corrosão que são controlados por parâmetros de meio, um exemplo a ser citado é a corrosão em águas ácidas contaminadas por H_2S . Os exemplos mais comuns nas refinarias são a análise química, medidas de pH.
- c) Métodos de engenharia da corrosão: permitem a caracterização do estado eletroquímico (ativo ou passivo) do material em avaliação, possibilitando a determinação da velocidade instantânea de corrosão.

Pintura como método de proteção a corrosão

Segundo Silva (2016), a pintura é uma técnica simples, com relação ao custo benefício, sendo de fácil aplicação e manutenção. Além de evitar a corrosão, a pintura possui outras finalidades como estética, impermeabilização, diminuição da rugosidade, permitir a absorção ou não de calor, entre outros.

De acordo com Barros (2009), um tanque de armazenamento só deve ser pintado após o teste hidrostático a aplicação da pintura deve atender a norma ABNT NBR-14847, que trata da inspeção de serviços de pintura em superfície metálica, sendo que essa inspeção abrange as seguintes operações segundo a norma:

- a) Inspeção visual: durante a inspeção visual deve ser anotado os pontos contidos nas imperfeições decorrentes de corte e soldagem, vestígios de óleo, pontos de corrosão e outros materiais estranhos. O grau de corrosão da superfície inspecionada deve ser classificado como (A,B,C ou D), conforme os padrões visuais da ISO 8501-1.
- b) Limpeza por compostos químicos: atuando nas superfícies contaminadas através de solventes, emulsões, desengraxantes, detergentes e métodos por ação físico-química.
- c) Tratamento da superfície a pintar: por meio de jato abrasivo (granalha de aço, óxido de alumínio sinterizado ou outros abrasivos) ou hidrojateamento (água sob alta pressão), retirando crostas de ferrugem, deixando a superfície a pintar com o acabamento exigido.
- d) Aplicação da tinta de fundo
- e) Aplicação da tinta de acabamento

A pintura industrial utiliza três mecanismos fundamentais contra a corrosão, são eles: barreira física, proteção anódica e proteção catódica (SILVA,2016).

A barreira física é o tipo de inibição que ocorre quando se coloca uma película impermeável entre o substrato e o meio corrosivo, impedindo a passagem dos agentes corrosivos. A proteção anódica, é observada nas tintas de fundo “primer”, em que as mesmas são dotadas de pigmentos anticorrosivos de inibição anódica os pigmentos tem a ação de alterar a agressividade do meio corrosivo, formando assim camadas isolantes junto ao metal. A proteção catódica, é a proteção no qual se utiliza uma tinta contendo pigmentos metálicos, que possuem metais com maior potencial de oxidação (SILVA,2016).

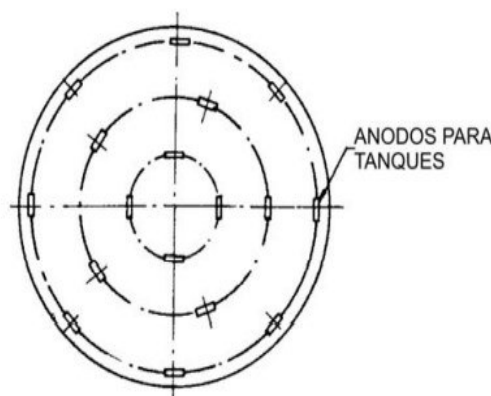
Proteção catódica em tanques de armazenamento

Um tanque de armazenamento pode ser protegido catodicamente, desde que o fluido, no qual esteja em contato seja condutor. Em tanques de armazenamento, a proteção catódica é aplicada de forma interna e/ou externa ao fundo do equipamento (BARROS, 2009).

- **Proteção Catódica Interna**

Segundo Barros (2009), para os tanques de armazenamento de combustíveis a necessidade de proteção catódica é definida em função da existência de água, dos valores de resistividade e das condições de aeração. O tipo de proteção adotado é a proteção catódica galvânica com anodos de zinco ou alumínio a Figura 12 representa um esquema típico a respeito da distribuição dos anodos nos tanques de armazenamento.

Figura 12 - Ilustração da distribuição típica dos anodos no fundo dos equipamentos.



Fonte: Barros (2009)

A proteção interna anticorrosiva do fundo de tanques de armazenamento de petróleo e seus derivados é normalmente realizada, de maneira econômica, com uma pintura (prolongando-se ao costado até uma altura de 1 m) e, completada por uma proteção catódica galvânica (BARROS, 2009).

- **Proteção catódica externa**

Apenas os tanques montados sobre bases de concreto elevadas e com excelente impermeabilização, entre a base e a chaparia do fundo, podem ser considerados isentos de corrosão externamente ao fundo. Do ponto de vista econômico, normalmente é interessante o emprego de proteção catódica

externamente ao fundo do equipamento, sendo o tipo de proteção mais utilizado por corrente impressa.

4.3 MANUTENÇÃO

A manutenção é definida como “a combinação de ações técnicas e administrativas, abrangendo a gestão da supervisão, destinado a manter ou restituir um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida” (NBR 5462-1994).

Existem inúmeras definições para manutenção, a maioria tem foco nos panoramas preventivos, corretivos, preditivos das atividades realizadas, aspectos mais recentes, incluem definições de custos e confiabilidade da função da manutenção, e isso gera consequências no aumento da importância e responsabilidade dentro das organizações (COSTA, 2013).

4.3.1 Histórico da Manutenção

Desde os primórdios da civilização a conservação de ferramentas é uma prática histórica, mas a função da manutenção ganhou forças no século XVI, a partir da invenção das máquinas a vapor. As pessoas eram treinadas para operar e consertar as máquinas, esse cenário só teve mudanças no século XIX, quando as máquinas passaram a ser movidas por motores elétricos (WIREBSK, 1997).

Apenas com a II Guerra Mundial, no final da década de 30, é que se começou a monitorar as máquinas e equipamentos com base no tempo, o que hoje, atualmente é conhecido como manutenção preventiva. O aumento das ocorrências de manutenção e principalmente os altos custos com peças de reposição, ficaram evidentes com a prática da manutenção preventiva, isso levou ao incremento de um planejamento e gestão da manutenção mais aprimorado entre as décadas de 40 e 50 (COSTA, 2013).

Segundo Costa (2013), o foco no controle e prevenção de falhas passou a fazer parte do cotidiano das equipes de manutenção, trazendo bons resultados, garantindo um aumento na confiabilidade, produtividade e disponibilidade das máquinas e equipamentos. Com o avanço da tecnologia em meados da década de 60, houve inovações para o controle, medição e análise de falhas, em termos de tratamento de dados e em termos de disponibilidade de novos equipamentos no mercado. Com isso,

foi-se desenvolvendo critérios de previsão de falhas, com equipes focadas no aproveitamento dos recursos disponíveis, nesse contexto, surge a Manutenção Preditiva e a área de Planejamento e Controle da Manutenção.

A partir de 1980, com o avanço tecnológico e desenvolvimento de microcomputadores a custos acessíveis, as equipes de manutenção adquiriram maior independência para criação e aplicação de programas, possibilitando assim, um avanço no manejo e análise de dados envolvendo a manutenção e a produção. Essas mudanças resultaram em um aumento da confiabilidade dos processos industriais, com intervenções mais curtas e precisas com análises dos riscos envolvidos. A necessidade da inovação e otimização demandava criação de equipes multidisciplinares o que proporcionou resultados melhores em termos de eficiência e produtividade de custos, nesse contexto, a manutenção assumiu papel de fundamental importância e estratégico dentro das empresas (COSTA, 2013).

4.3.2 Tipos de Manutenção

De acordo com Kardec (2009), os diversos tipos de manutenção podem ser considerados como políticas de manutenção, desde que a sua aplicação seja o resultado de uma definição gerencial ou política global da instalação. Várias ferramentas que estão disponíveis e são adotadas hoje em dia têm no nome a palavra manutenção, é essencial observar que não são novos tipos de manutenção, mas, ferramentas que permitem a aplicação dos tipos de manutenção, dentre essas ferramentas, pode-se citar: Manutenção Produtiva Total (TPM), Manutenção Centralizada na Confiabilidade (RCM), Manutenção Baseada na Confiabilidade (RBM).

Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva é a atuação para a correção da falha ou do desempenho menor do que o esperado. Assim, a manutenção corretiva não é, necessariamente, a manutenção de emergência (KARDEC, 2009). Do ponto de vista da manutenção, a corretiva é mais barata do que as manutenções que visam prevenir a falha dos equipamentos. Em compensação, pode causar perdas significativas e atrasos na produção (JUNIOR, 2015).

De acordo com Kardec (2009), vale observar que existem duas condições que levam a manutenção corretiva, são elas:

- a) Desempenho deficiente apontado pelo acompanhamento das variáveis operacionais;
- b) Ocorrência da falha.

A manutenção corretiva pode ser dividida em duas classes:

- a) Corretiva Não Planejada: A correção da falha ou do desempenho abaixo do esperado é realizada sempre após a ocorrência do fato, sem acompanhamento ou planejamento anterior (COSTA, 2013). Esse tipo de manutenção implica em altos custos, pois a quebra inesperada acarreta em perdas de produção, qualidade do produto e elevados custos indiretos de manutenção. Além disso, essas quebras incomuns podem gerar consequências negativas para o equipamento, ou seja, os danos podem ser maiores do que o esperado (KARDEC, 2009).
- b) Corretiva Planejada: É a correção do desempenho menor do que o esperado ou correção da falha por decisão gerencial. A característica principal da manutenção corretiva planejada é a função da qualidade da informação fornecida pelo acompanhamento do equipamento (KARDEC, 2009).

Manutenção Preventiva

É a manutenção voltada para evitar que a falha ocorra, através de intervalos de tempo pré-definidos (COSTA, 2013). É realizada periodicamente ou conforme especificações, envolvendo algumas tarefas como as inspeções, reformas e substituições de peças (JUNIOR, 2015).

De acordo com Kardec (2009), os seguintes fatores devem ser levados em consideração para a adoção de uma política de manutenção preventiva:

- a) Quando não é possível que se tenha uma manutenção preditiva;
- b) Aspectos relacionados com a segurança pessoal ou da instalação que tornam mandatória a intervenção, normalmente para a substituição de componentes;
- c) Riscos de agressão ao meio ambiente;
- d) Em sistemas complexos e/ou de operações contínuas. Por exemplo: petroquímica, siderúrgica, indústria automobilística, etc.

A manutenção preventiva proporciona um conhecimento prévio das ações, permitindo boa condição de gerenciamento das atividades e nivelamento de recursos, além da previsibilidade de consumo de materiais (KARDEC, 2009).

Manutenção Preditiva

Segundo Junior (2015), a manutenção preditiva pode ser executada como a prevenção da preventiva, realizada antes das peças ou equipamentos atingirem seus limites de vida, otimizando a troca de peças ou reformas e estendendo o intervalo da manutenção, pois, permite prever quando a peça ou componente está próximo do seu limite de vida.

Quando o grau de degradação se aproxima do limite que é previamente estabelecido, se faz necessária uma tomada de decisão de intervenção. Esse acompanhamento permite a preparação prévia do serviço. A manutenção preditiva, prediz as condições dos equipamentos, e quando se faz necessário a intervenção, se torna uma manutenção corretiva planejada (KARDEC, 2009).

Para Kardec (2009), às condições básicas para adotar a manutenção preditiva são:

- a) As falhas devem ser oriundas de causas que possam ser monitoradas e ter sua progressão acompanhada;
- b) Seja estabelecido um programa de acompanhamento, análise e diagnóstico sistemático;
- c) O equipamento, sistema ou instalação devem permitir algum tipo de monitoramento/medição.

A manutenção preditiva é a que oferece melhores resultados no âmbito de produção, pois intervém o mínimo possível na planta (KARDEC, 2009).

Manutenção Detectiva

A manutenção detectiva começou a ser mencionada na literatura a partir da década de 90, e é definida como a atuação efetuada em sistemas de proteção, comando e controle buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal da operação e manutenção (KARDEC, 2009).

Portanto, a manutenção detectiva é essencial para a identificação de falhas, garantindo assim a confiabilidade dos equipamentos.

4.3.3 Manutenção em Tanques de Armazenamento

De acordo com Barros (2009), a manutenção de tanques, consiste na realização das seguintes tarefas:

Limpeza

a) Limpeza Interna

A limpeza interna é a remoção da borra depositada no fundo do equipamento.

A frequência dessa limpeza depende do produto armazenado e das impurezas contidas. A limpeza interna convencional de um tanque de armazenamento apresenta as seguintes fases de execução:

1. Planejamento e treinamento de pessoal onde são definidos os procedimentos operacionais para liberação do tanque: retirada do mesmo de operação, esvaziamento, verificação da quantidade e da natureza dos resíduos, verificação da descontaminação química, remoção dos resíduos e eliminação de gases e vapores, além disto, deve-se ter um plano de raqueteamento para isolamento do tanque, procedimentos de execução dos trabalhos de limpeza, procedimentos de retorno do tanque à operação e procedimento de controle de risco, bem como em casos de emergências.
2. Retirada do tanque de operação;
3. Drenagem;
4. Isolamento do tanque;
5. Ventilação e eliminação dos gases e vapores;
6. Monitoramento da explosividade;
7. Monitoramento ambiental;
8. Retirada e descarte dos resíduos (borras oleosas);
9. Retorno à operação após os serviços de inspeção e manutenção necessários ao equipamento.

A borra oleosa, apresentada na Figura 13 abaixo, é um resíduo em estado líquido, semi-sólido ou sólido, normalmente é gerado na limpeza de tanques de petróleo e derivados, limpeza de canaletas de águas oleosas separadoras de água e óleo (BARROS, 2009).

Figura 13 - Borra oleosa.



Fonte: Barros (2009)

b) Limpeza Externa

Consiste na limpeza com jatos de água pressurizado, do teto ao costado do tanque.

Reparos

a) Reparos no Fundo

A recuperação do fundo corroído de tanques de armazenamento pode ser realizada por:

1. Sobreposição de novas chapas na região comprometida;
2. Substituição parcial ou integral de chapas corroídas.
3. Enchimento com solda;
4. Soldagem de um novo fundo sobre o fundo existente;
5. Aplicação de um revestimento interno: pintura, concreto, massa epóxi reforçada com fibra de vidro.

b) Reparos no Costado

As chapas do costado de tanques, normalmente apresentam maior taxa de corrosão nos anéis intermediários, atingindo, em alguns casos, até 0,8 mm/ano. Em terminais de combustíveis a corrosão, internamente ao costado é uniforme. Para a recuperação das chapas corroídas, têm-se os seguintes métodos de manutenção:

1. Sobreposição de chapas novas;
2. Substituição da chaparia na região comprometida;

3. Aplicação de pintura interna;
4. Aplicação de revestimento interno e/ou externo.

c) Reparos no Teto

A recuperação do teto corroído pode ser realizada por:

1. Sobreposição de novas chapas na região comprometida;
2. Substituição integral das chapas corroídas;
3. Aplicação de pintura interna.

4.4 Métodos de Inspeção

Inspeção de Operação

Segundo Oliveira (2009), esse método de inspeção tem a finalidade de avaliar as condições do equipamento, seja de forma interna ou externa, determina a taxa de corrosão e vida útil e avalia as possíveis causas de deterioração. Na inspeção de operação, temos dois tipos de situações, são eles:

- Inspeção Externa: é realizado com o tanque ainda armazenado com produto, durante essa inspeção, não se deve ter movimentação de produto, por questões de segurança e operacionais, para realizar esse método deve-se levar em conta o seguinte roteiro:
 - a) Bacia de Contenção: inspecionar o dique quanto às condições físicas e integridades dos taludes, a própria bacia quanto ao acúmulo de sujeira ou areia de jateamento, o sistema de drenagem (canaletas, válvulas e grades), verificar as condições dos eletrodutos e condições físicas das plataformas;
 - b) Base: realizar a verificação de recalques, inspecionar o anel do concreto quanto à fissuras, ferragens expostas, desagregação do concreto, as chapas de apoio quanto à corrosão, verificar a existência de possíveis vazamentos e inspecionar a impermeabilização da base ;
 - c) Escadas, plataformas e passadiços: inspecionar os degraus, corrimãos e plataformas quanto à corrosão e peças danificadas, aterramento entre o costado e o teto flutuante, verificar a existência de furos para o escoamento de água nos degraus e pisos, inspecionar as soldas de fixação das estruturas ao tanque quanto à existência de trincas ou corrosão;
 - d) Costado: realizar a verificação de vazamentos, corrosão nas chapas e juntas soldadas, deformações, fazer uma execução da medição da espessura em todos os anéis em alguns pontos predeterminados ao

longo da escada, conexões do costado e válvulas verificando corrosão nas faces dos flanges e vazamentos, inspecionar as bocas de visita em relação a vazamentos e corrosão e realizar uma verificação das condições físicas do sistema de combate a incêndio;

- e) Teto Fixo: inspecionar chapas e juntas soldadas em relação à corrosão, deformações e furos, além de executar medição de espessura em cada chapa, além disso, deve-se verificar o guarda corpo, válvulas de pressão e vácuo e sistemas de medição.
- Inspeção Interna: A mesma deve ser realizada nos seguintes componentes e equipamentos:
 - a) Fundo: Verificar visualmente a existência de recalques das chapas de fundo, executar medição de profundidade do recalque e ensaio não destrutivo nas soldas, inspecionar as chapas e juntas soldadas, através de exame visual e medição de espessura em relação à corrosão e trincas (Oliveira,2009);
 - b) Costado: realizar medição de espessura, verificar as chapas e juntas soldadas em relação a corrosão, inspecionar as conexões, bocas de visitas e conexões (Oliveira,2009);
 - c) Teto: inspecionar as chapas quanto à corrosão, em especial os seguintes locais: sistema de sustentação do teto, regiões próximas a conexões que permitam entrada de ar, bocas de visita também devem ser inspecionadas.

4.5 Ensaios Aplicados

Os Ensaios Não Destrutivos são técnicas não invasivas amplamente utilizadas na indústria, com o objetivo de avaliar a integridade de produtos e equipamentos. A análise não destrutiva pode ser aplicada para detecção e dimensionamento de descontinuidade dos materiais, avaliação de suas integridades, medição de espessuras, e etc. Existem inúmeras técnicas de ensaios não destrutivos na indústria petrolífera, quando se faz necessário a inspeção de dutos de transportes de fluidos e tanques de armazenamento, uma das técnicas utilizadas é o campo magnético de fuga (“Magnetic Flux Leakage - MFL”) (CARVALHO,2006).

Essa técnica é difundida na indústria petrolífera para a detecção de descontinuidade e perda de espessura por corrosão em materiais ferromagnéticos. A mesma permite uma avaliação quantitativa do tamanho do defeito nas chapas ou paredes do duto. A avaliação do campo de fuga é realizada por um elemento sensor,

em que o mesmo pode ser uma bobina ou um conjunto de semicondutores (PASA, 2016).

Caso se detecte a corrosão, o fluxo magnético “vaza” para fora da chapa, então os sensores de MFL detectam esse “vazamento de fluxo” e o converte em pulsos eletromagnéticos que são processados e medidos no software (BCEND,2022).

Segundo Da Costa (2014), quanto à forma de magnetização da chapa a ser inspecionada existem dois tipos de sistemas, são eles: sistemas que empregam ímãs permanentes e aqueles que usam eletroímãs, estes últimos são volumosos e pesados dificultando a sua operação. Quanto aos sensores de campo de fuga, duas tecnologias são empregadas: sensores do tipo bobina indutiva e os sensores hall.

A forma como são realizadas as medições e o processo de dados que são realizados pelo software, tem como base parâmetros inseridos durante o processo de calibração que é realizado em chapas de teste com simulações de defeitos, já preestabelecidos. O ensaio de MFL é qualitativo, apresentando percentuais estimados de perdas de material nas faixas de 20% a 80% em relação à espessura nominal da chapa (BCEND,2022).

Pode-se inspecionar chapas metálicas (ferromagnéticas) de 6 mm a 12 mm em chapas revestidas a espessura do revestimento não pode ser superior a 6 mm. A limpeza do fundo do tanque deve ser rigorosa, eliminando sujeiras, graxas, óleos, fluídos e qualquer outra impureza que prejudique a realização do ensaio (BCEND,2022).

5. METODOLOGIA APLICADA.

O presente trabalho foi realizado de forma qualitativa, através de uma revisão bibliográfica das normas, processos de corrosão, manutenção e tanques de armazenamento. De forma prática no campo, foi verificado o acompanhamento de todo o processo das seguintes etapas:

1. Aplicação do Jateamento abrasivo;
2. Aplicação do EcoPrimer D;
3. Aplicação do Revestimento base – Shieldcote D;
4. Revestimento de reforço – Fibra de Vidro;
5. Revestimento de acabamento final – Epoguard D.

6. RESULTADOS DO ACOMPANHAMENTO DA MANUTENÇÃO E VISTORIA.

O presente trabalho foi realizado a partir do acompanhamento presencial da manutenção de um tanque de armazenamento de diesel S500 A em um terminal de combustíveis, localizado na área portuária de São Luís..

5.1 Inspeção Geral de segurança

O tanque de armazenamento de diesel S500 A após todo o processo de inspeção seguindo as diretrizes especificadas em normas, conforme relatado em seções anteriores, apresentou descontinuidades estruturais no fundo o que inviabiliza a continuidade das operações nas condições encontradas, todavia, nas chapas do costado e no teto do tanque não foi identificada nenhuma descontinuidade, as chapas dos mesmos estavam com as espessuras aptas para se continuar realizando uma operação segura por pelo menos 20 anos, as taxas de corrosão avaliadas durante a inspeção garantem a integridade estrutural perante a norma de inspeção API -653.

O fundo do tanque, após a inspeção, foi reprovado, o mesmo apresentava vários pontos com perda de espessura identificados durante o mapeamento de corrosão nas chapas, sendo assim o fundo do tanque não estava apto para operar de forma segura pelos próximos 10 e 20 anos, por conta disso, a sua classificação de risco, segundo quadro 2, foi colocada como prioridade alta A.

Quadro 2 - Classificação de risco.

Classificação de Risco	
Prioridade	Descrição
A	Ação de manutenção imediata
B	Ação de manutenção no máximo em 24 meses
C	Ação de manutenção no máximo em 36 meses

Fonte: Autor, 2022.

- A) Prioridade A - Alta: está relacionada a itens que comprometem a segurança operacional, meio ambiente e integridade estrutural, a adoção dos reparos é feito através de análises técnica e preliminar de riscos - APR;

- B) Prioridade B - Média: não impede a operação do equipamento, mas no futuro, pode comprometer a segurança e integridade do tanque e até causar possíveis danos ao meio ambiente;
- C) Prioridade C - Baixa: está relacionado a conservação do referido equipamento ou instalação.

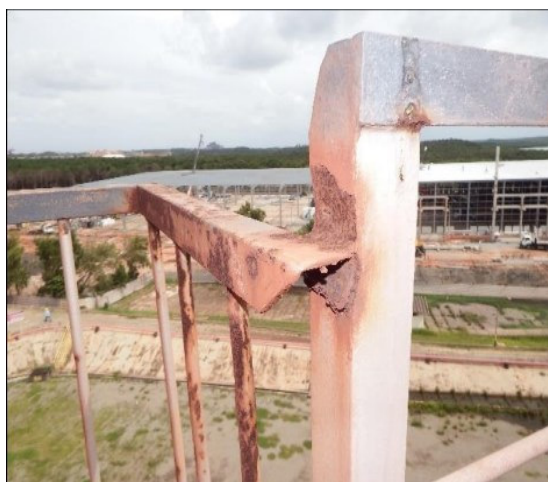
Após inspeção, os equipamentos e componentes tiveram suas respectivas recomendações determinadas de acordo com o quadro 2.

Equipamentos com Prioridade Alta:

Guarda-corpo do teto: Realizar reparação mecânica e/ou substituição de toda a estrutura do guarda-corpo do teto, conforme NR-12, ou até mesmo realizar a interdição do acesso ao teto do tanque.

Na estrutura do guarda-corpo foram identificados processos de corrosão como podem ser observados nas as Figuras 14 a 17. Esse equipamento é um dos principais equipamentos de proteção de um tanque, o mesmo é obrigatório para que se evite quedas de grande altura. Segundo a NBR 14.178, caso o guarda corpo sofrer algum dano ou apresentar componentes soltos, deve-se providenciar a manutenção corretiva ou até mesmo a substituição. Por estar submetido a pressão do vento e esforços submetidos a ele por pessoas, e em alguns casos estar localizado em área de atmosfera corrosiva, faz com que se tenha um desgaste nos seus componentes (GADIOLI, 2022).

Figura 14 - Corrosão no guarda corpo da plataforma.



Fonte: Autor, 2022.

Figura 15 - Perda de seção metálica no guarda corpo.



Fonte: Autor,2022.

Figura 16 - Corrosão do guarda corpo do passadiço.



Fonte: Autor,2022.

Figura 17 - Corrosão em placas da estrutura do guarda corpo.



Fonte: Autor,2022.

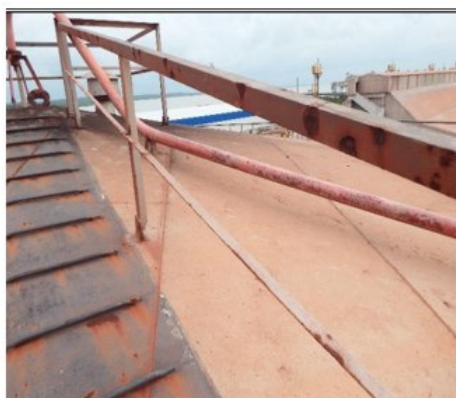
Passarela do teto: Realizar substituição dos perfis metálicos da passarela localizada no teto.

Na Figura 18 é possível observar diversos pontos de corrosão, que levam a perda de seção transversal dos elementos estruturais e isso faz com que se tenha um aumento na concentração de tensões, e conseqüentemente redução na capacidade de resistência e em casos graves pode provocar a ruína dos componentes ou equipamentos, apresentando uma perda de estabilidade (VIEIRA, 2018).

Figura 18 - Vista da corrosão na passarela.



a) Corrosão em passadiço



b) Corrosão em vários pontos

Fonte: Autor,2022.

Escada Helicoidal: Realizar a substituição ou reparação dos degraus e plataformas da escada helicoidal.

Na Figuras 19 e 20 são observados processos de corrosão severos que foram encontrados durante a inspeção. Segundo Vieira (2018), a corrosão atmosférica é o processo mais comum de ocorrência de corrosão nas estruturas metálicas expostas ao ar livre. A localização do terminal em um ambiente de agressividade severo, tendo um alto índice pluviométrico, salinidade e de temperatura altas, contribui para que a corrosão seja mais agressiva nas escadas do tanque.

Figura 19 - Corrosão severa em vários pontos na escada.



Fonte: Autor,2022.

Figura 20 - Vista da degradação da plataforma.



Fonte: Autor,2022

Costado e fundo do tanque: Realizar o reparo do cordão de solda de ligação do costado e fundo, solda do rodo, os defeitos e processos de corrosão são mostrados na Figura 21:

Figura 21 - Junta soldada do costado.



a) Junta soldada de ligação do costado e do fundo



b) Vista das juntas soldadas

Fonte: Autor, 2022.

No fundo do tanque também deverá ser realizado procedimento de inspeção de proteção anticorrosiva “pintura reforçada” no fundo do tanque ou realizar reparo no mesmo de acordo com a NR-13 para mitigação do dano atuante, onde posteriormente deverá proceder com os ensaios não destrutivos e aplicar pintura reforçada de espessura mínima de 1,3 mm, atendendo ao item 13.3.3, que diz: “ Todos os reparos ou alterações em equipamentos abrangidos por esta NR devem respeitar os respectivos códigos de projeto e pós construção e as prescrições do fabricante no que se refere a”:

- a) Certificação de materiais;
- b) Procedimentos de execução;
- c) Procedimentos de qualidade (visual de solda, estanqueidade e líquido penetrante);
- d) Qualificação e certificação de pessoal.

Nas Figuras 22 e 23 podem ser visto detalhes de corrosão em vários pontos na pintura do tanque no fundo do mesmo, já nas Figuras 24 a 27 diferentes intensidades de corrosão são observadas em diversos locais do fundo do tanque.

Figura 22 - Detalhe da pintura com corrosão.



Fonte: Autor,2022.

Figura 23 - Desprendimento da pintura.



Fonte: Autor,2022.

Figura 24 - Aspecto típico do processo corrosivo nas chapas de fundo.



Fonte: Autor,2022.

Figura 25 - Vista das chapas laterais.



Fonte: Autor,2022.

Figura 26 - Corrosão de média intensidade na tubulação de entrada.



Fonte: Autor,2022.

Figura 27 - Corrosão de média intensidade nas vigas radiais.



Fonte: Autor, 2022.

Equipamento com Prioridade Média:

Sistema de ventilação: Realizar a substituição dos capuzes do sistema de ventilação do tanque;

Base do tanque: Realizar aplicação de manta asfáltica na base do tanque, conforme norma NBR -9575 - Impermeabilização, seleção e projeto e norma NBR 9574 - Execução de impermeabilização.

Equipamento com Prioridade Baixa:

Realizar preparação mecânica de superfície dos equipamentos, substituição das partes degradadas e aplicação completa de esquema de pintura e conexões, chaparia e cordão de solda.

A Figura 28 apresenta corrosão de leve intensidade encontrada nas flanges e nas bocas de visita. Esse é um dos principais problemas enfrentados pela indústria de petróleo e gás, os tipos de corrosão encontrados fazem com que se tenha vazamentos e conseqüentemente leva a uma maior manutenção e custos de substituição (LYUBLINSKI, 2014).

Figura 28 - Vista da boca de visita.



a) Vista da boca de visita



b) Corpo da boca de visita apresentando corrosão

Fonte: Autor,2022.

Como pode-se observar nas Figuras 29 a 31, os ataques ocorrem nas áreas superficiais entre as faces dos flanges, em juntas soldadas, assim como em porcas e parafusos.

Figura 29 - Detalhe da corrosão no flange.



Fonte: Autor,2022.

Figura 30 - Corrosão na válvula da conexão de saída.



Fonte: Autor, 2022.

Figura 31 - Vista da corrosão na válvula da conexão de saída.



Fonte: Autor, 2022.

5.2 Tipos de corrosão encontradas durante inspeção

A corrosão nos metais em estruturas ocorre devido ao meio, no qual o equipamento está submetido, dentre os meios mais relevantes pode-se citar segundo Do Amaral (2008):

- a) Águas naturais: a corrosão pelo contato com a água vai depender da matéria orgânica que é dissolvida na presença de bactérias e microrganismos ;
- b) Atmosfera: a corrosão atmosférica dependerá da temperatura e umidade relativa;

- c) Solo: a corrosão pelo contato com o solo ocorre em função da porosidade, umidade, Ph, sais dissolvidos e etc.

A corrosão é um processo natural e está ligado a diversos fatores como a atmosfera onde o metal está inserido e que pode contribuir para a velocidade de corrosão (Silva,2020).

Com a inspeção realizada, foram detectados alguns tipos de corrosão ao longo da estrutura interna e externa do tanque, sendo que em alguns pontos, pode-se observar uma corrosão severa. Esse fato está relacionado diretamente com a localização em área portuária do terminal de combustíveis. Essa proximidade do mar intensifica os meios relevantes para o surgimento de processos corrosivos. (Silva,2020).

Corrosão por fresta

Esse tipo de corrosão é uma particularidade por concentração diferencial. A diferença na concentração dos íons em solução no eletrólito sedânos espaços que ficam localizados entre as chapas superpostas ou entre superfícies metálicas e não metálicas (ADDOR,2009).

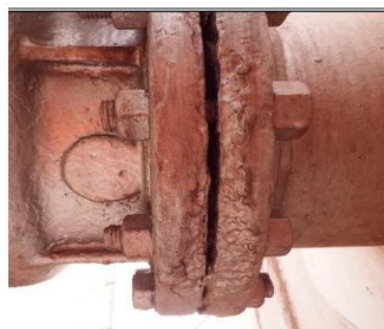
A corrosão por frestas é associada a líquidos estagnados no interior de furos, superfícies de gaxetas, juntas sobrepostas. No início da exposição ao líquido, a fresta e a região externa corroem com a mesma intensidade, por conta disso, o desenvolvimento do processo corrosivo cria condições para o estabelecimento e aceleração do ataque corrosivo (DE Melo,2022).

Em alguns pontos do tanque foi encontrado esse tipo de corrosão de forma média a severa, como pode ser observado nas Figuras 32 e 33.

Figura 32 - Corrosão por fresta no flange.



a) Corrosão discreta no flange



b) Corrosão por fresta no flange da conexão de saída

Fonte: Autor,2022.

Figura 33 - Corrosão por fresta, ataque severo.



Fonte: Autor,2022.

Corrosão por placas

Como já mencionado no presente trabalho, esse tipo de corrosão se localiza em regiões da superfície metálica, formando placas com escavações. A mesma ocorre em regiões sujas ou que não possuem proteção, em que as placas vão se desprendendo pelo crescimento da corrosão, esse tipo, ocorre em metais que tem propriedade de formação de película protetiva em chapas e laminados (Rijeza,2022).

Nas Figuras 34 a 37 são apresentadas alguns componentes nos quais esse processo de corrosão foi identificado durante a inspeção:

Figura 34 - Corrosão por placas no travessão.



Fonte: Autor,2022.

Figura 35 - Corrosão severa por placas no parafuso.



Fonte: Autor,2022.

Figura 36 - Corrosão por placas em válvula gaveta.



Fonte: Autor,2022.

Figura 37 - Corrosão severa por placas no respiro obstruindo a passagem de ar.



Fonte: Autor,2022.

Corrosão alveolar

Conforme o item 4.2.1 esse tipo de corrosão produz sulcos ou escavações semelhantes a alvéolos. Ela aparece quando o processo de corrosão acontece sob o depósito de detritos que são ocasionados pelo fluido escoado (EVANGELISTA JR,2018).

A corrosão alveolar faz com que se tenha uma perda de volume de uma forma mais localizada, e com uma maior profundidade (HERMAN,2016). As figuras 38 a 41 mostram a corrosão alveolar em estágio médio a severo.

Figura 38 - Corrosão alveolar de média intensidade nas chapas centrais de fundo.



Fonte: Autor,2022.

Figura 39 - Agrupamento de alveolos generalizado com perda de massa.



Fonte: Autor,2022.

Figura 40 - Corrosão alveolar generalizada severa.



Fonte: Autor,2022.

Figura 41 - Corrosão alveolar severa.

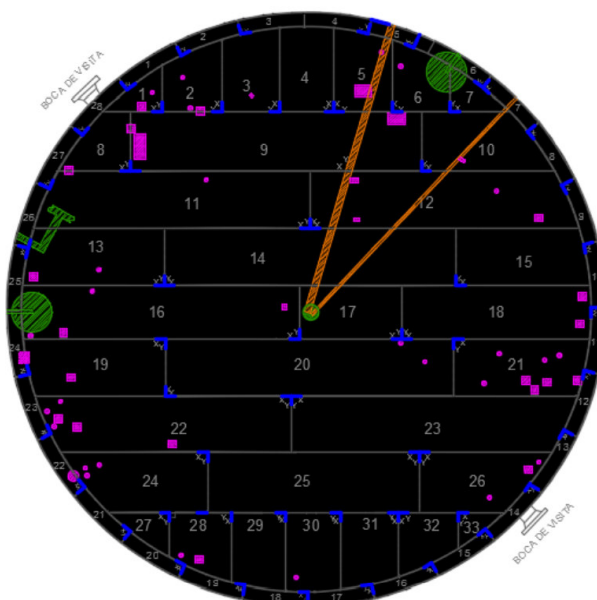


Fonte: Autor,2022

5.3 Inspeção em chapas do fundo por MFL

Para realização de inspeção, foi utilizada a técnica de “varredura 100”. A inspeção foi contínua e com geração de arquivos para todas as chapas, onde se apresentou atividades de corrosão ou não. A Figura 42 mostra o croqui do fundo do tanque com as suas chapas e suas respectivas numerações.

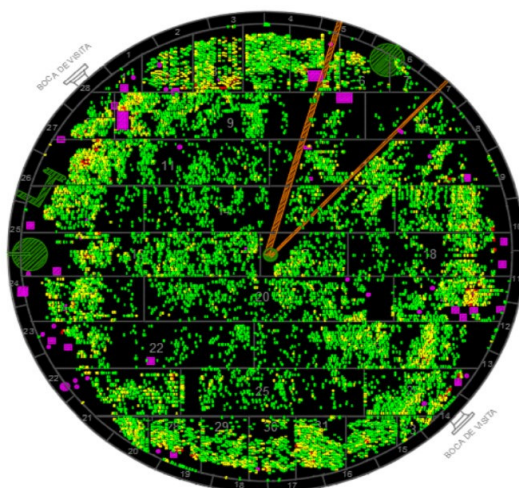
Figura 42 - Vista do fundo do tanque.



Fonte: Autor,2022.

Após o ensaio de MFL ser realizado, foram identificadas regiões com perda de espessura, dentre os defeitos encontrados temos: profundidade (mm), comprimento (mm), largura (mm) e espessura residual (mm). Na Figura 43 é possível observar as descontinuidades encontradas durante o ensaio e o quadro 3 mostra o significado de cada cor encontrada que aparece nas chapas.

Figura 43 - Vista das descontinuidades no fundo do tanque.



Fonte: Autor,2022.

Quadro 3 - Espessuras encontradas.

Espessura das chapas apresentadas	
	Espessura Residual > 60%
	Espessura Residual entre 40 % e 60 %
	Espessura Residual < 40%

Fonte: Autor,2022.

A inspeção por ensaio de MFL, detectou 835 pontos com perda de massa metálica superior a 55%, onde a localização desses pontos consta na Figura 43. Os pontos que apresentaram uma espessura residual inferior ao tempo mínimo de manutenção estabelecido, 10 anos, foram submetidos a um plano de reparo para a solução das contingências apresentadas.

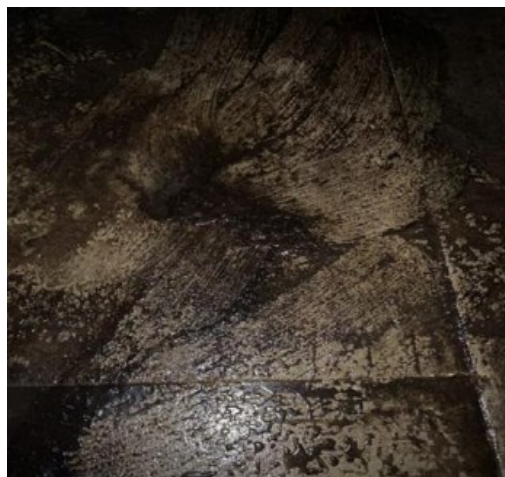
Além dos pontos com espessura abaixo requerida pela API-653, como apresentados na Figura 43, foi identificado um processo de corrosão alveolar de

intensidade severa de forma generalizada, o que reduz a vida útil do tanque. Sendo assim, o tanque de armazenamento foi reprovado no ensaio de MFL para uma campanha de manutenção de 10 anos. Após todo esse processo de inspeção geral de segurança e MFL, as chapas de fundo passaram pelo processo de manutenção com aplicação de um revestimento anticorrosivo, denominado Glass Shield.

5.4 Aplicação do Revestimento Anticorrosivo – Glass Shield.

Antes da aplicação do revestimento é necessário realizar uma inspeção buscando vestígios que possam provocar a contaminação do Glass Shield, são eles: restos de tintas ou revestimentos, manchas, óleos ou graxas. Após essa verificação constatou-se a presença de vestígios de óleo que poderiam acarretar na contaminação do substrato antes do jateamento, como apresentado na Figura 44.

Figura 44 - Presença de óleo durante a inspeção.



Fonte: Autor, 2022.

Para a aplicação do Glass Shield, é necessário que a superfície onde será feito o recobrimento esteja limpo e preparado, nesse sentido é realizado um jateamento abrasivo que será descrito a seguir.

Jateamento Abrasivo

O jateamento abrasivo é uma das técnicas mais comuns dentro da indústria, e geralmente é utilizado com os seguintes propósitos: reforma de aço (geral), remoção de ferrugem, de tintas velhas e limpeza em geral (concretos, fachadas, etc). A limpeza

por jateamento é uma operação de alta pressão e velocidade, onde várias partículas abrasivas são lançadas contra um determinado local (GRILLO, 2018).

Segundo GRILLO (2018) o jateamento é utilizado para tratamento de uma superfície, ou seja, é a preparação inicial do aço ou outros materiais para que posteriormente ocorra a aplicação de revestimentos ou tintas.

De acordo com WATANABE (2018) um abrasivo para jateamento deve limpar com rapidez e eficiência, ter uma boa durabilidade e desgastar o mínimo possível os componentes do equipamento. Existem diversos tipos de abrasivos metálicos e não metálicos, entretanto a escolha deve ser feita de acordo com cada caso.

A realização do jateamento no tanque de diesel se deu com a utilização do produto abrasivo Cobau, o resultado do mesmo foi uma superfície de jato ao metal quase branco como mostrado na Figura 45, estando em acordo com a ISO 8501-1: 1988. A superfície após o jateamento apresentou um perfil de rugosidade de 70 ~ 80 μm , o que está dentro do permitido.

Figura 45 - Jateamento abrasivo.



a) Jateamento no fundo



b) Jateamento nas placas

Fonte: Autor, 2022.

Glass Shield

Para evitar a substituição das chapas que foram encontradas com defeitos e prolongar a vida útil e funcional do fundo, foi aplicado um revestimento por sistema de materiais compósitos para 20 anos, o mesmo foi dimensionado com espessura de 5,0 mm, com intervalos de inspeções periódicas de até 10 anos.

O revestimento de materiais compósitos têm como diferencial a sua aplicação a frio e sem a necessidade de movimentação de componentes pesados. O produto

aplicado foi o Glass Shield 325 N/ Epoguard 431 N. O mesmo foi aplicado no fundo e no costado do tanque, com uma espessura média final de 5,0mm. A seguir são apresentadas as camadas e etapas de aplicação até chegar ao compósito final.

a) Aplicação do EcoPrimer D

A espessura do mesmo é de 0,10 mm em todo o fundo e é realizado com aplicação de uma camada de resina primer ECOPRIMER D, através de rolos de lã especiais e trinchas de maneira a cobrir de forma uniforme toda a superfície de aço jateado, ou seja, nas regiões de pontos de soldas, superfícies irregulares, perímetro das sobreposições de chapas e cantos vivos como mostrado nas Figuras 46 e 47

Figura 46 - Aplicação da camada de Ecoprimer D no costado e chapas de fundo.



Fonte: Autor, 2022.

Figura 47 - Aplicação da camada de Ecoprimer D.



Fonte: Autor, 2022.

b) Revestimento Base - SHIELDCOTE D.

O revestimento base é composto por uma massa polimérica formada com resina e cargas minerais inertes e pigmentos anticorrosivos, a mesma é obtida através da mistura dos mesmos como mostrado na Figura 48.

Figura 48 - Mistura da resina e cargas minerais para formação da massa polimérica.



Fonte: Autor, 2022.

A massa polimérica que é formada, apresenta um coeficiente de dilatação térmica próxima ao substrato, impedindo que ocorra a delaminação por tensões de cisalhamento na interface do revestimento com as chapas de aço, a mesma tem uma espessura de 1,3 mm. Além disso, a camada base também tem a importante função de nivelar pequenas irregularidades, preencher as sobreposições das chapas, cobrir os cordões de solda e arredondar cantos vivos. A Figura 49 mostra a aplicação da massa no fundo do tanque.

Figura 49 - Aplicação da camada base.



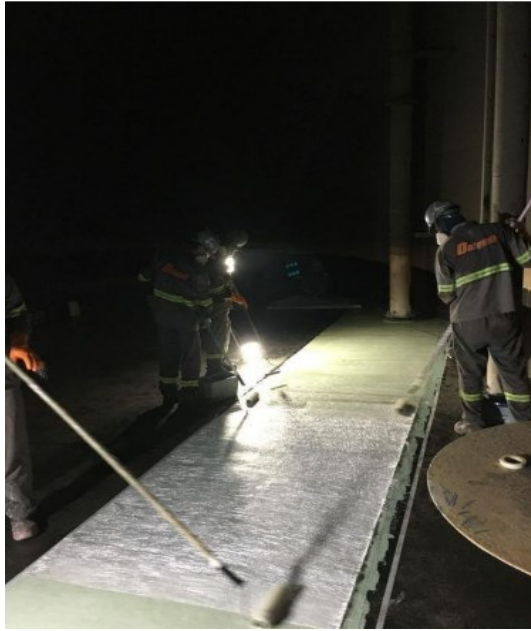
Fonte: Autor, 2022.

c) Revestimento de Reforço - Fibra de Vidro

Antes da completa polimerização da camada base são aplicadas três lâminas de fibra de vidro, sendo um tecido de densidade de 600 g/m^2 e duas mantas de 450 g/m^2 laminadas com resina de impregnação Resincoat NN.

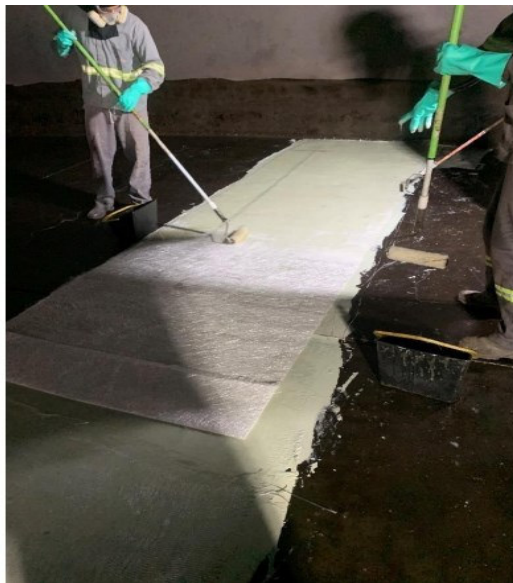
A aplicação é feita através de rolos de lã e nesta etapa é utilizado a laminação de roletes de aço intercalados com rolos de lã para eliminar eventuais bolhas de ar durante a laminação, em regiões de pontos de solda, superfícies irregulares, perímetro da sobreposição das chapas e cantos vivos com camada de espessura de 2,8 mm em todo o fundo do tanque, costado em alguns acessórios e bocas de visitas. As Figuras 50 e 51 mostram a aplicação da fibra de vidro e a Figura 52 apresenta o resultado obtido depois do revestimento de reforço.

Figura 50 - Aplicação da camada de reforço.



Fonte: Autor,2022.

Figura 51 - Processo de execução fazendo a aplicação com a fibra de vidro.



Fonte: Autor,2022.

Figura 52 - Processo final após o revestimento de reforço.

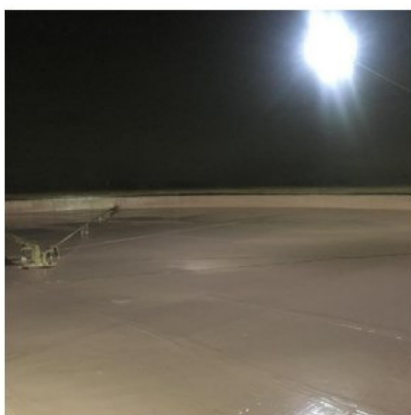


Fonte: Autor, 2022.

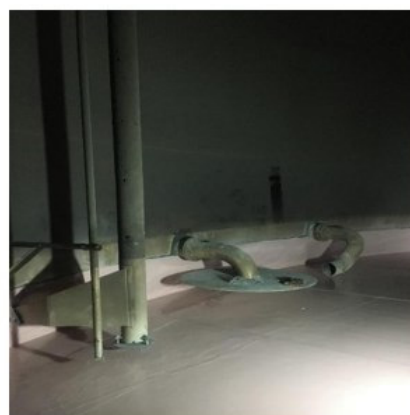
d) Revestimento de Acabamento - EPOGUARD 431 N

O revestimento de acabamento é a camada final, sendo composto por duas camadas nas cores salmão e violeta com intervalo de 4 horas entre as mesmas, com espessura média de cada uma de 0,450 mm. É um material composto de resina Epóxi Novolac bi componente, de alta espessura e altos sólidos, isento de solventes. Nas Figuras 53 a 55 é apresentado a execução do acabamento final.

Figura 53 - Execução do acabamento final na cor salmão.



a) Tanque com revestimento final



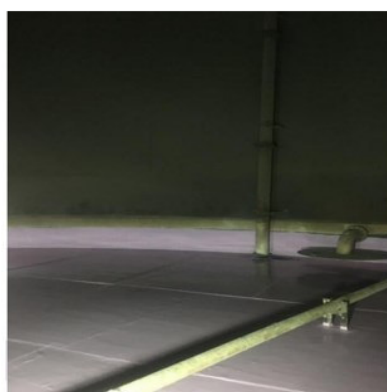
b) Vista do revestimento próximo a mesa de medição

Fonte: Autor, 2022.

Figura 54 - Execução do acabamento final na cor violeta.



a) Tanque com revestimento final no fundo e costado



b) Vista do revestimento próximo a mesa de medição

Fonte: Autor,2022.

Figura 55 - Execução do acabamento final nas bocas de visita.



a) Tampas das bocas de visita



b) Boca de visita com acabamento final

Fonte: Autor,2022.

Após a aplicação de cada camada, mede-se a espessura do revestimento para que o mesmo tenha suas medidas anotadas e que essas sejam exatamente a mesma indicada para a proteção. Após o tempo de “cura” que é de 15 dias, é realizado um teste de descontinuidade do revestimento. Esse teste é feito com um equipamento de corrente contínua e deve-se passar o mesmo em todo o local que foi aplicado o compósito para que se encontre alguma descontinuidade na área revestida. Caso seja encontrado é necessário se realizar reparo após os testes mencionados, vale salientar que o revestimento aplicado no tanque de Diesel não apresentou nenhuma irregularidade ou descontinuidade.

7. CONCLUSÃO

Este trabalho cumpriu com seus objetivos de acompanhar todas as etapas de manutenção aplicadas no revestimento de corrosão, como também, o estudo de todas as formas de corrosão que foram identificadas na parte interna e externa do tanque de armazenamento.

Devido o terminal estar localizado em uma área portuária, houve contribuição para que fossem encontrados determinados tipos de corrosão e principalmente o estado de degradação avançado de alguns acessórios externos do tanque, vale salientar, que os tanques de armazenamento são estocados com produtos puros, ou seja, produtos que não passam por nenhuma mistura, ou possuem algum aditivo que seja inibidor ao processo de corrosão. Processos de corrosão como os relatados no presente trabalho acontecem com frequência em materiais metálicos e o fato de o tanque passar por esse processo de manutenção a cada 10 anos, acaba contribuindo para que os processos de corrosão se configurem como severos. Porém, operações em terminais de combustíveis são críticas, por conta disso, um tanque só para de operar, quando se é necessário a paralisação completa do mesmo, seja para passar pelo processo completo de integridade e manutenção, ou quando apresenta riscos de segurança e derrames ambientais. Ao longo do tempo, são realizadas pequenas paradas de manutenção para aplicações de soldas frias, ou outros processos de manutenções corretivas.

Após a aplicação do revestimento, o tanque de armazenamento obteve o resultado esperado e não apresentou nenhuma descontinuidade, deste modo o mesmo foi liberado e se encontra disponível para operação.

Desta forma conclui-se que os resultados esperados foram alcançados, sugere-se a inspeção periódica do avanço da corrosão externa nos acessórios do tanque, para que se possa fazer pequenas paradas e ir tratando dos defeitos encontrados, para que não comprometa a segurança das operações, meio ambiente e colaboradores do terminal, além de não se ter um alto custo como a possível troca de todos os acessórios ou chapas danificados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADDOR, Pedro Nogueira. Avaliação da corrosão em dutos rígidos submarinos em operação: comparação entre as técnicas de monitoramento da corrosão interna e inspeção com pigs instrumentados. 2009.

AQUINO, Isabella Pacifico. Avaliação da corrosividade do biodiesel por técnicas gravimétricas e eletroquímicas. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

AMBROZIN, Alessandra Regina Pepe; KURI, Sebastião Elias; MONTEIRO, Marcos Roberto. Corrosão metálica associada ao uso de combustíveis minerais e biocombustíveis. Quím. Nova, v. 32 (7), p. 1910-1916, 2009. DOI: 10.1590/S0100-40422009000700037.

BARROS, Stênio Monteiro de. Tanques de Armazenamento, PETROBRAS, Universidade Corporativa, Rio de Janeiro, 2009.

BCEND.Ensaio de MFL, 2022. Página Inicial. Disponível em: <
<https://bcend.com.br/ensaio-de-mfl/>>. Acesso em: 11 de julho de 2022.

CARVALHO, A. A. Confiabilidade de Técnicas de Ensaio Não Destrutivos na Inspeção de Dutos Utilizados na Indústria do Petróleo. 2006. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado. COPPE. Rio de Janeiro, 2006. (In portuguese).

COSTA, Mariana de Almeida. Gestão estratégica da manutenção: uma oportunidade para melhorar o resultado operacional. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção). Juiz de Fora: UFJF, 2013.

DA COSTA, Emanuel Santana; DE MEDEIROS, Luiz Carlos Lima; DE OLIVEIRA, Cícero Roberto. Avaliação de corrosão em chapas de fundo de tanques de armazenamento de petróleo através da técnica de MFL-Magnetic Flux Leakage. 2014.

DE MELO, Hercilio G; Corrosão em frestas, 2022.Edisciplinas. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3486831/mod_resource/content/1/CORROSAO%20EM%20FRESTAS_2.pdf> . Acesso em: 16 de outubro de 2022.

DO AMARAL, Cristiano Torres; CORREIA, Martineli Priscila; PEREIRA, Paulo Tibúrcio. Corrosão em estruturas metálicas: uma breve discussão acerca da prevenção em torres de telecomunicação. **e-xacta**, v. 1, n. 1, 2008.

EVANGELISTA JR, AntonioEdilberto. MONITORAMENTO DA CORROSÃO DE DUTOS; TÉCNICAS, PROCEDIMENTOS E INCERTEZAS. 2018.

FIMACO.Para que servem os tanques de armazenamento,2022.Página inicial. Disponível em:<<https://fimaco.com.br/para-que-servem-os-tanques-de-armazenamento>>. Acesso em: 02 de Julho de 2022.

GADIOLI, Fábio, BELTRAME, Rago Fabiola. Guardas corpos devem atender à norma técnica NBR 14.178, 2022.Aecweb. Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/guarda-corpos-devem-atender-a-norma-tecnica-nbr-14718/6408>>. Acesso em: 12 de novembro de 2022.

GENTIL,Vicente. Corrosão 3ª edição editora LTC. Rio de Janeiro, 1996.

GRILLO, Gabriel; KREWER, Evandro José. Produção mais limpa: um comparativo entre os processos de jato de escória de cobre e jato de granalha de aço. **Revista Global Manager Acadêmica**, v. 7, n. 1, 2018.

HERMAN, André Magueta. Proposta de detecção de corrosão e fraturas em estruturas aeronáuticas. 2016.

JUNIOR, Facci Marcio. *Manutenção produtiva total. Proposta de aplicação em um terminal de distribuição de combustíveis*. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação) - Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2015.

KARDEC, Alan. Manutenção: função estratégica/ Alan Kardec, Júlio Nascif. - 3. ed. rev. e ampl. - Rio de Janeiro. Qualitymark: Petrobras, 2009.

LEITE, Eduardo GB; BRASIL, Simone LDC. Tanque de armazenamento: um estudo em laboratório. 2012.

LYUBLINSKI, E.; SCHULTZ, M.; SINGH, R. PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO DE FLANGES E CONEXÃO DE TUBOS. 2014.

NBR-7821: Tanques Soldados Para Armazenamento de Petróleo e Derivados. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABR 1983. 1983.

NBR-5462: Confiabilidade e manutenibilidade. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABR 1994. 1994.

N-270: Projeto de Tanque de Armazenamento Atmosférico. Comissão de Normalização Técnica. CONTEC 2007. 2007.

OLIVEIRA, Rafael César Buriche. Tanques de Armazenamento, curso de formação de inspetor de equipamentos, 2009. Disponível em: <https://www.treinaend.com.br/material_apoio/01_37_001.pdf>. Acesso em: 15/10/2022.

PASA.Mfl, 2016. Disponível em: <<http://www.pasa.com.br/2016/mfl.asp>>. Acesso em: 18 de Julho de 2022.

RIJEZA. Corrosão por placas, o que é e como prevenir, 2022. Disponível em: <<https://rijeza.com.br/blog/corrosao-por-placas-o-que-e-e-como-prevenir-gastos/>>. Acesso em 16 de Outubro de 2022.

SILVA, Marcela Lélis. Tratamento Anti Corrosivo da Superfície Interna em Tanques de Armazenamento de Derivados do Petróleo com Resina Epóxi. Revista Científica Semana Acadêmica, nº 000085, 01/07/2016. Fortaleza, 2016.

SILVA, Jardel Freire da. Estudo sobre proteção contra corrosão do metal em ambiente salina. 2020.

VIEIRA, Gabriella Darold et al. Análise Patológica de uma Passarela Metálica.

VIDAL, Davi Dias et al. Corrosão eletroquímica no tanque de armazenamento atmosférico de gasolina g-03 numa refinaria de petróleo situada na região norte do Brasil. 2020.

WATANBI, T. M. O jateamento com gralhas. Indústria de Fundição Tupy Ltda, 2018. Disponível em: . Acesso em: 05 novde 2022.

WYREBSK, J. Manutenção Produtiva Total. Um Modelo Adaptado. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.