

Tratamento Anticorrosivo da Superfície Interna em Tanques de Armazenamento de Derivados do Petróleo com Resina Epóxi

Marcela Lélis da Silva

(marcelallsilva@gmail.com)

Madrith Stihel Costa Duarte

Gilson Lemos de Carvalho

Coordenação de curso de Engenharia Química

Resumo – No presente trabalho, foi realizado uma revisão bibliográfica baseada na coleta de dados secundários para a obtenção de parâmetros qualitativos, com o objetivo de comparar a eficiência das tintas industriais na pintura de tanques de armazenamento de derivados de petróleo, visando à proteção anticorrosiva. As tintas utilizadas para a análise foram às tintas epóxi novolac sem solvente com pigmento de flocos de vidro e a tinta epóxi sem solvente sem pigmento de flocos de vidro. O ensaio utilizado para comparação das tintas foi o teste de aderência à tração. Os resultados permitiram constatar que a tinta novolac apresentou melhor aderência ao teste de tração.

Palavra chave – tanque de armazenamento, proteção anticorrosiva, pintura industrial, resina epóxi, flocos de vidro, poliamina.

I. INTRODUÇÃO

O processo corrosivo em tanques de armazenamento de derivados do petróleo ocorre devido às características do fluido armazenado e do material que é construído o tanque.

Os tanques normalmente são constituídos por chapas de aço carbono, que é um material com menor preço, melhor resistência, fácil obtenção, processamento e soldabilidade. O ataque corrosivo a esse material é decorrente de gases como dióxido de carbono, gás sulfídrico em combinação com vapor de água e o líquido armazenado, além de fatores como o PH, temperatura, pressão, salinidade e microrganismos.

Segundo Gentil, corrosão é um processo espontâneo de desgaste e degradação de materiais, que vem acarretando no cotidiano uma série de problemas em diversos setores, destacando-se o derramamento de petróleo por furos em tanques de armazenamento e oleodutos, nas instalações de

refino de petróleo e petroquímica, responsável por elevados prejuízos econômicos. Estudos ao redor do mundo confirmam essa afirmação, sugerindo ainda que os países direcionem cerca de 3% a 5% de seu PIB na busca de alternativas para contenção e reposição de materiais danificados por esta reação química .

A proteção anticorrosiva é necessária e de grande importância para evitar que o tanque de armazenamento e o fluido fiquem inadequados ao uso, devido à perda das dimensões críticas, gerando prejuízos e custos. Dentre os métodos de proteção anticorrosiva existentes, a pintura industrial, principalmente as tintas à base de resina epóxi, é umas das técnicas mais utilizadas, pois, tem fácil aplicação, manutenção e boa relação custo- benefício .

O mecanismo anticorrosivo das tintas atua como uma barreira entre o meio e o substrato metálico, possuindo assim um comportamento elétrico e químico em meios corrosivos.

O tratamento de tanques de armazenamento de derivados do petróleo possui algumas etapas sendo manutenção, controle e proteção anticorrosiva.

Desta forma esse trabalho tem como objetivo realizar um estudo com levantamentos bibliográficos sobre o tratamento anticorrosivo em tanques de armazenamento de derivados do petróleo abordando o uso de pintura industrial á base de tinta epóxi como solução.

II. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

A. Tanques de Armazenamento

Os tanques de armazenamento são estruturas de superfície metálica, com fabricação e montagem soldada, em formato cilíndrico-vertical, construídos geralmente em aço comum, usualmente encontrado em refinarias, terminais e unidades distribuidoras, destinados a armazenar petróleo, álcool, biodiesel, gasolina, nafta, óleo combustível, água e outros [1].

Os tanques de armazenamento da Petrobrás são construídos com dimensões que variam de 2 a 100 metros de diâmetro, possuem capacidades de armazenamento variando entre 16 a 112.000m³. São classificados como equipamentos de caldeiraria pesada devido à grande quantidade de material utilizado na sua fabricação, opera normalmente com pressão atmosférica ou levemente acima [1] [2].

O projeto de construção e montagem do tanque para armazenamento de derivados de petróleo deve considerar a temperatura e a espessura nominal das chapas de aço como principais fatores. Seguida de recomendações definidas precisamente em conformidade com as normas API 650 e 620, NBR 7821, N- 270 e 271, ASTM A-36 e A-283 Gr. C [2].

As chapas de aço comum são classificadas pela API 650 em dois tipos: chapas finas com espessura até 4,75 mm e chapas grossas com espessura a partir de 6,30 mm. Os projetos de construção de tanque com chapas grossas de aço comum devem atender as especificações contidas na referida norma, e em conformidade com a ASTM A-36 para chapas com espessura máxima de 40 mm (1,5 pol.) e ASTM A-283 Gr. C com placas de espessura máxima de 25 mm (1pol.) [2].

Na construção de tanques de armazenamento as espessuras das chapas produzidas pelas usinas brasileiras estão em conformidade com a norma NBR 11889 e seguem os valores citados na tabela 1[2].

Tabela 1 – Tabela de Padronização da Chapa de Aço

Espessura (mm)	Massa por m ² (kg)	Espessura (mm)	Massa por m ² (kg)	Espessura (mm)	Massa por m ² (kg)
6,30	41,61	5,60	43,96	7,10	55,74
9,00	70,65	-----	-----	60,00	471,00

B. Corrosão

A corrosão é definida como desgaste, ataque, deterioração de materiais, como peças ou equipamentos (tanques, dutos, estruturas metálicas etc.) pela ação química ou eletroquímica do meio.

Sendo a corrosão, em geral, um processo espontâneo, esta constantemente transformando os materiais metálicos de modo que a durabilidade e desempenho dos mesmos deixam de satisfazer os fins a que destinam [3].

Os problemas de corrosão são constantes e ocorre em diversas atividades como, por exemplo, nas indústrias química, petroquímica, petrolífera, naval, de construção civil, nos meios de transporte aéreo, ferroviário, marítimo, eletrodomésticos, estruturas metálicas, instalações industriais, etc [3].

Do ponto vista econômico, os custos com corrosão corresponde 3% a 5% do PIB (produto interno bruto) do país. As perdas econômicas podem ser divididas em dois segmentos: direto e indireto. Os custos diretos compreendem os custos de reposição de peças corroídas enquanto os custos indiretos compreendem perda de produto, perda de eficiência do processo e contaminação do produto final por subprodutos da corrosão [4] [5].

1) Tipos de corrosão

As formas de corrosão podem ser apresentadas usando diferentes critérios, como a morfologia da superfície, as causas do processo corrosivo, os meios e mecanismos com que a corrosão ocorre [3].

Existem diferentes classificações para os tipos de corrosão e as principais formas são:

Corrosão uniforme: A corrosão uniforme processa-se em toda a extensão da superfície (figura 1b), de modo a ocorrer perda uniforme de espessura. É chamada, por alguns, de corrosão generalizada, mas esta terminologia não deve ser usada só para corrosão uniforme, pois é possível ter, também, corrosão por pite ou alveolar generalizada, isto é, em toda a extensão da superfície corroída. É a forma de corrosão mais simples de medir, além de ser possível evitar falhas repentinas através de uma inspeção regular [4].

Corrosão por placas: A corrosão localiza-se em regiões da superfície metálica e não em toda sua extensão, então se formam placas com escavações (figura 1c) [3] [4].

Corrosão Alveolar: A corrosão ocorre na superfície metálica, produzindo sulcos ou escavações – semelhantes a alvéolos (figura 1d) que apresentam fundo arredondado e profundidade, em geral, menor que o seu diâmetro [4].

Corrosão Puntiforme ou por Pite: A corrosão processa-se em pontos ou em pequenas áreas localizadas na superfície metálica produzindo pites (Figura 1e), que são cavidades que apresentam o fundo em forma angulosa e profundidade, geralmente, maior do que o seu diâmetro. A forma da cavidade é, com frequência, responsável por seu crescimento contínuo. O pitting é uma das formas mais destrutivas e insidiosas de corrosão. Causa a perfuração de equipamentos, com apenas uma pequena perda percentual de peso de toda a estrutura. É, geralmente, difícil de detectar pelas suas pequenas dimensões e porque os pites são, frequentemente, escondidos pelos produtos de corrosão. Os aços, quando em ambientes agressivos contendo cloretos, sofrem corrosão por pitting [4].

Corrosão intergranular: quando o ataque se manifesta no contorno dos grãos, como no caso dos aços inoxidáveis austeníticos expostos a meios corrosivos (figuras f e f1) [4].

Corrosão Intragranular: A corrosão evidencia-se nos grãos da rede cristalina do material metálico (figuras f e f2) que ao perder suas propriedades mecânicas, poderá fraturar à menor sollicitação mecânica, tendo-se também corrosão sob tensão fraturante [4].

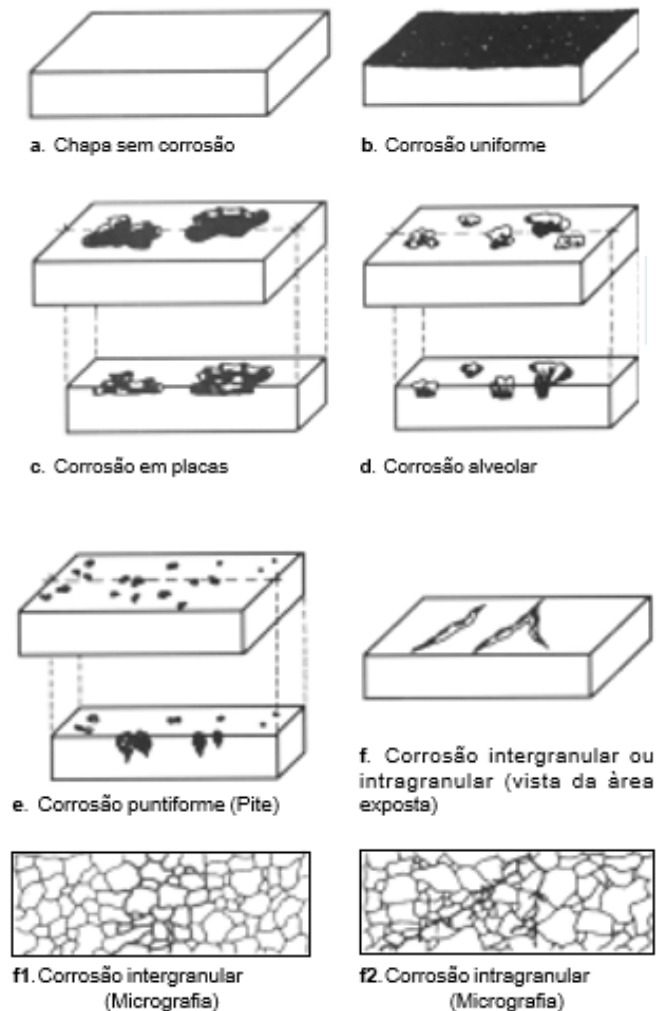


Figura 1. Classificação das Corrosões

2) Mecanismo de controle da corrosão

O controle da corrosão abrange todas as ações e medidas tomadas em cada etapa desde o projeto, escolha do material, o meio em que se encontra a peça ou equipamento. Assim podemos utilizar métodos de proteção anticorrosivo que possa promover a passivação ou polarização do material. Dentre estes métodos podemos citar os revestimentos, que se constituem em películas interpostas entre o metal e o meio corrosivo, podendo assim dar ao material um comportamento

mais nobre ou protegê-lo por ação galvânica, aumentando assim a resistência do material à corrosão.

C. Pintura como método de proteção anticorrosiva

Como método de proteção anticorrosiva, a pintura é uma técnica simples, com relação custo e benefício atraente, facilidade de aplicação e manutenção. Além de evitar a corrosão, a pintura possui outras finalidades como estética, segurança industrial, impermeabilização, diminuição da rugosidade, facilitar a identificação de fluidos em tubulações ou reservatórios, impedir a aderência de vida marinha no casco de embarcações e bóias, permitir ou não absorção de calor e outros.

A pintura industrial utiliza três mecanismos fundamentais contra a corrosão: barreira física, proteção anódica e proteção catódica. 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 (umidade e íons agressivos). Para este tipo de mecanismo a eficiência da proteção está relacionada com a espessura do revestimento e da resistência da tinta ao meio corrosivo. A proteção anódica, também chamada de passivação anódica, é observado nas tintas de fundo “primer”. Estas tintas são dotadas de pigmentos anticorrosivos de inibição anódica, a ação destes pigmentos, que têm a propriedade de alterar a agressividade do meio corrosivo, formando camadas isolantes junto ao metal, quando os agentes corrosivos atravessam a película de tinta. Exemplo deste tipo de tinta são: zarcão, cromato de zinco, fosfato de zinco, silicato de cálcio. E por último a proteção catódica, é a proteção na qual se utiliza uma tinta contendo pigmentos metálicos, que possuem metais com maior potencial de oxidação. Estes pigmentos encontram-se em elevada concentração na película seca. A substância mais comum é o zinco. Como por exemplo, na presença do zinco o ferro torna-se catódico e em contato com o meio corrosivo o zinco será consumido (pois ele será anódico). O zinco é sacrificado enquanto o ferro permanece intacto [6].

1) Tintas

Segundo a definição da norma ABNT NBR 15156, tinta é um produto líquido, pastoso ou em pó, com propriedades de formar película após secagem ou cura, composto por uma mistura formada de resinas, pigmentos, solventes, cargas e aditivos [7].

A tinta é constituída de um ou mais pigmentos dispersos em um aglomerado líquido (veículo) que os fazem sofrer um processo de cura (secagem) quando estendida em película, formando um filme opaco e aderente ao substrato. Basicamente as tintas são compostas de componentes básicos, como: veículo, solvente, pigmentos e aditivos [8].

O veículo é a parte fundamental da tinta, sendo composto pela resina e pelo solvente. O Veículo se divide em dois tipos:

Veículo volátil é composto pelo solvente, material este que é importante por facilitar a aplicação das tintas, mas estes não fazem parte do filme seco da tinta, pois evaporam durante a aplicação da tinta e ainda durante a secagem da mesma. O solvente tem a função de solubilizar a tinta, ajustando a sua viscosidade. A resina é o veículo não volátil que tem a propriedade de ser o ligante ou aglomerante das partículas do pigmento, mantendo os mesmo junto ao substrato. A resina deve formar uma película contínua e impermeável que evita o contato entre o substrato e os agentes corrosivos do meio [9].

Os pigmentos são substâncias insolúveis no meio em que são utilizados para conferir cor, opacidade, certas características de resistência e outros efeitos. Podem ser classificados em pigmentos orgânicos e inorgânicos. Os orgânicos tem a finalidade de conferir cor e opacidade, caracterizados por possuírem baixa solubilidade, alto brilho e fraca resistência química e à ação dos raios ultravioletas. Os inorgânicos são utilizados com o objetivo tintorial, como carga e proteção anticorrosiva. Caracterizados por serem de densidade maior em relação aos orgânicos, menor brilho e maior resistência química [8] [10].

Os aditivos são produtos químicos que envolvem uma vasta gama de componentes que são empregados em baixas concentrações (geralmente menor que 5%), que têm funções específicas como conferir importantes propriedades às tintas e aos revestimentos respectivos, tais como: aumento da proteção anticorrosiva, bloqueadores dos raios UV, catalisadores de reações, dispersantes e umectantes de pigmentos e cargas, melhoria de nivelamento, preservantes e antiespumantes. A tabela a seguir relaciona alguns aditivos com a função respectiva [10].

Tabela 2 - Funções dos Aditivos

Aditivo	Função
Fotoiniciadores	Formação de radicais livres quando submetidos à ação da radiação UV iniciando a cura das tintas de cura por UV
Secantes	Catalisadores da secagem oxidativa de resinas alquídicas e óleos vegetais polimerizados
Agentes reológicos	Modificam a reologia das tintas (aquosas e sintéticas) modificação esta necessária para se conseguir nivelamento, diminuição do escorrimento, etc
Inibidores de corrosão	Conferem propriedades anticorrosivas ao revestimento
Dispersantes	Melhoram a dispersão dos pigmentos na tinta
Umectante	Nos sistemas aquosos aumentam a molhabilidade de cargas e pigmentos, facilitando a sua dispersão
Bactericidas	Evitam a degradação do filme da tinta devida à ação de bactérias, fungos e algas
Coalescentes	Facilitam a formação de um filme contínuo na secagem de tintas base água unindo as partículas do látex

Fonte: Estudo dos Tópicos Operacionais no Processamento de Pigmentos, Tintas e Vernizes.

A película de tinta deve apresentar as seguintes características: Coesão entre os diversos constituintes do revestimento, de forma a apresentar uma película contínua, isenta o mais possível de falhas; adesão que consiste na perfeita e permanente aderência à superfície a ser protegida [8].

2) Classificação das tintas

As tintas são classificadas como verniz, laca, esmalte e tinta-de-base conforme os constituintes presentes em sua formulação [11].

Verniz é uma tinta transparente sem pigmento, essa característica distingue o verniz das demais composições de revestimentos [11].

Laca é uma tinta opaca, pigmentada ou colorida. Seu componente base é um polímero ou uma resina, solúvel e fusível, não-reativo, com elevado peso molecular já adequado as características finais da película [11].

Esmalte é uma tinta opaca, pigmentada ou colorida. Seu componente base é um polímero ou uma resina, solúvel e fusível, porém reativo, com peso molecular relativamente baixo. Durante a evaporação do solvente ocorre uma reação química que reticula o polímero, tornando a película insolúvel e infusível. Essa é a diferença fundamental entre a esmalte e a laca [11].

Tinta-de-base é uma tinta caracterizada por apresentar alto teor de pigmento. Serve para proteção contra corrosão e uma melhor adesão entre a camada seguinte de tinta e o substrato metálico. Possui uma grande quantidade de pigmentos que é o que diferencia das outras composições [11].

3) Classificação da tinta quanto aplicação

Diferentes combinações de tintas podem ser aplicadas para que se tenha um revestimento com melhores propriedades e proteção. Essas tintas são classificadas de acordo com sua ordem de aplicação [12].

Tintas de fundo ou primárias (“primer”): São aquelas que são aplicadas diretamente ao substrato. E são responsáveis pela aderência dos esquemas de pintura [13].

Tintas intermediárias: São tintas normalmente utilizadas nos esquemas de pintura com a função de aumentar a espessura do revestimento, com um menor número de demãos, com o objetivo de melhorar as características de proteção por barreira do mesmo [13].

Tintas de acabamento: São as tintas que têm a função de conferir a resistência química ao revestimento, pois são elas que estão em contato direto com o meio corrosivo. Além disso, são as tintas que conferem a cor final aos revestimentos por pintura [13].

D. Resinas

A resina é componente formador do filme propriamente dito, servindo como estrutura fixadora do pigmento e atuando, também, como uma barreira para o processo de corrosão. Sem a presença da resina, todos os demais componentes de uma tinta não teriam aderência junto ao substrato. A resina atua inibindo os processos de transporte através da mesma, principalmente o de difusão de sais, solubilizados em água, e a difusão de oxigênio, que estão relacionados com processo o corrosivo [12].

A resina geralmente define a classe que a tinta pertence e suas principais características, como o mecanismo de formação do filme, aderência, tempo de cura. Tem-se assim, por exemplo, tintas acrílicas, alquídicas, epoxídicas, etc. Todas levam o nome da resina básica que as compõem. Elas são responsáveis por proteção por barreira [12].

1) Resinas epóxi

A palavra epóxi vem do grego “EP” (sobre ou entre) e do inglês “OXI”(oxigênio), literalmente o termo significa oxigênio entre carbonos. O termo refere-se a um grupo constituído por um átomo de oxigênio ligado a dois átomos de carbono. Resinas epóxi são polímeros caracterizados pela presença de pelo menos dois anéis de três membros conhecidos como epóxi, epóxido, oxirano ou etano epóxi[14][15].

As resinas epóxi são convertidas em polímeros termorrígidos por um processo chamado reação de cura pela ação de endurecedores (agentes de cura). A reação de cura pode ser realizada tanto à temperatura ambiente como à altas temperaturas, dependendo dos produtos iniciais utilizados no processo ou das propriedades desejadas do produto final [15].

As resinas epóxi transformam-se em um sólido termorrígido tendo como ponto de partida o estado líquido, logo a viscosidade é um parâmetro de particular importância em resinas líquidas, pois sendo função da temperatura, determina

os parâmetros de processo [15].

Elas são comercializadas desde as décadas de 30 e 40 e é obtida basicamente por reação de condensação entre a epicloridrina e o Bisfenol A, dando assim, a resina mais comum e conhecida como (DGEBA) diglicidil éter de bisfenol – A. A estrutura química do DGEBA é representada na figura 2 [7][14].

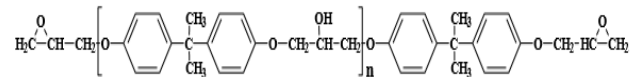


Figura 2. Estrutura Química do DGEBA

O valor do grau de polimerização “n” é determinado pela razão dos reagentes. Se o valor de “n” situar-se entre 0 e 1 a resina epóxi é líquida, e quando “n” for maior que 2 a resina é sólida . O grau de polimerização do EDGBPA é quase zero sendo “n” aproximadamente 0,2. Na figura 3 é representada a reação de polimerização por condensação do EDGBPA [15].

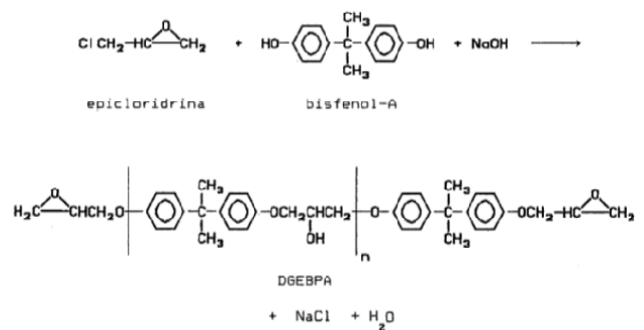


Figura 3. Reação de Polimerização do EDGBPA

As resinas epóxi são caracterizadas pela sua viscosidade, ponto de fusão, cor, número de hidroxilas, porcentagem de insaturação, distribuição de peso molecular e outros, por meio de procedimentos padronizados [15].

As tintas fabricadas com estas resinas são de alta performance e de grande uso no Brasil. Estas tintas, geralmente são fornecidas em dois componentes A e B, (figura 4) um contendo o pré-polímero epóxi e o outro o agente de cura que em geral, pode ser amina, amida ou isocianato. As resinas

epóxis sozinhas não tem propriedades interessantes para tintas. É necessário reagir-las com outras resinas, chamadas de “catalisadores”, agentes de cura ou endurecedores, que dependendo da sua natureza química proporcionará propriedades diferentes e específicas para cada tipo de aplicação [7] [14].

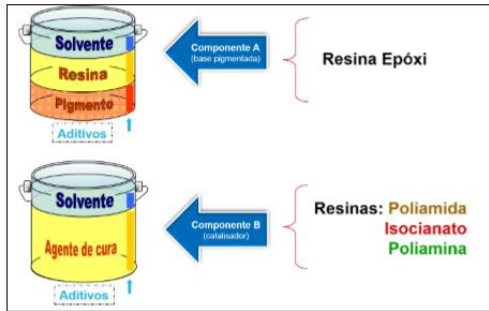


Figura 4. Componentes A e B de Tintas Epóxis

As tintas epóxis que utilizam a amina como agente de cura são muito utilizadas como primer, intermediário ou acabamento em interiores de tanques e tubulações de produtos químicos e solventes. Possuem alta resistência a: umidade e imersão em água, produtos químicos, ácidos e bases fracas, solventes, combustíveis e lubrificantes. As que utilizam a amida como agente de cura apresentam uma melhor resistência à água, sendo indicadas para ambientes altamente úmidos ou em imersão constante em água [7] [14].

D. Esquema de pintura em tanques de armazenamento

Um tanque de armazenamento só deve ser pintado após o teste hidrostático. O teste hidrostático tem por finalidade a verificação de possíveis vazamentos em soldas, roscas, partes mandriladas e em outras ligações no próprio vaso ou em seus acessórios externos ou internos [16].

A pintura de um tanque de armazenamento abrange uma série de operações que será descrita a seguir:

Inspeção visual: Etapa em que é realizada uma inspeção visual, anotando os pontos contendo imperfeições decorrentes de corte e soldagem, vestígios de óleo, graxa, cimento, concreto, gordura, carepa de laminação, pontos de corrosão e outros materiais estranhos. O grau de corrosão da superfície

inspecionada deve ser classificado (A, B, C ou D representado na figura 5) conforme padrões visuais da norma ISO 8501-189. Anotar, os pontos em que a pintura, se existente, estiver danificada [17]

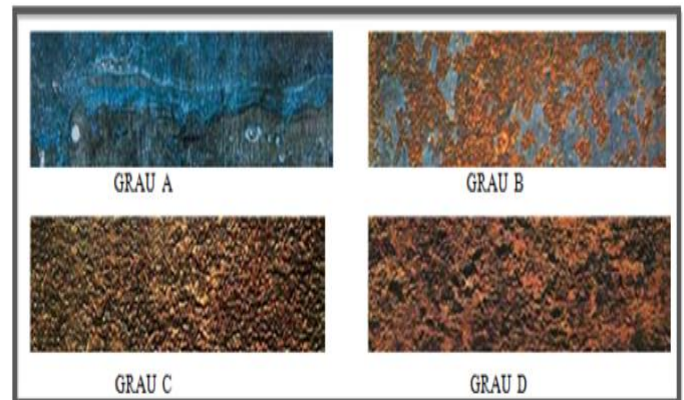


Figura 5. Grau de Oxidação

Limpeza com solvente e remoção de defeitos na superfície:
Limpeza por compostos químicos, atuando nas superfícies contaminadas através de solventes, emulsões, desengraxantes, detergentes, água, vapor ou outros materiais e métodos por ação físico-química [17].

Tratamento da superfície a pintar: O tratamento da superfície é feito por meio de jato abrasivo ou hidrojateamento.

O jato abrasivo é uma técnica consiste basicamente no uso de jato de areia, óxido de alumínio ou granalha de aço para a limpeza da superfície que recebe o material metalizado. O uso do abrasivo óxido de alumínio é que predomina atualmente, pois traz mais vantagens técnicas e até econômicas diante das outras opções, uma vez que ficou comprovado que a areia sílica é prejudicial à saúde e a granalha de aço conforme o armazenamento provoca oxidação. Basicamente para limpeza, pois tem a função de remover todas as impurezas na superfície do substrato evitando formação de óxidos para não prejudicar a aderência [18].

O processo de hidrojateamento é o uso da água em forma de lâmina ou neblina, projetada em baixa, alta e ultra-alta pressões, ou seja, até 5.000psi (baixa pressão), entre 5.000 e 10.000 psi (alta pressão) e acima de 10.000 a mais de 36.000

psi (ultra-alta pressão).

No hidrojateamento é possível remover ferrugens, tintas velhas e até carepa de laminação. Mas, por não conter partículas sólidas, a água não produz rugosidade suficiente na superfície para certos tipos de pintura [19].



Figura 6. Tratamento da Superfície a Pintar com Jato Abrasivo e Hidrojateamento

Para o esquema de pintura interna de tanques de armazenamento é realizada aplicação de tinta de fundo, responsáveis pela adesão do esquema ao substrato, podem ou não conter pigmentos inibidores de corrosão; tinta intermediária que oferecem espessura ao sistema e tinta de acabamento responsável por proteger o sistema contra o meio ambiente e dar a cor desejada. O esquema de pintura deve estar em conformidade com as normas N-1201 e N-1205.

III METODOLOGIA / COLETA DE DADOS

O presente artigo é uma revisão bibliográfica e os dados coletados para redigi-lo são de fontes secundárias com parâmetros qualitativos, a fim de realizar uma avaliação da resina epóxi na proteção anticorrosiva em tanques de armazenamento de derivados do petróleo.

Foram avaliados dois tipos de resina como base comparativa: A tinta epóxi 'Novolac' curada com poliamina sem solvente pigmentada com flocos de vidro e a tinta epóxi poliamina de alta espessura, sem solvente, formulado com pigmentos anticorrosivos sem flocos de vidro.

Para determinar o desempenho e qualidade dos revestimentos, são feito ensaio de aderência à tração (pull off) que mede a

tensão de ruptura para identificar a natureza da falha de aderência. No revestimento e é realizado de acordo com os passos descritos abaixo.

São preparados três corpos de prova de aço carbono nas dimensões 120x240x6,4 mm para cada tinta a ser analisada no ensaio (figura 7). No metal quase branco, aplica-se jateamento abrasivo conforme a norma ISO 8501-1. Lava-se cada painel com água abundante e corrente, em seguida é feita a aplicação da tinta.



Figura 7. Preparação dos Corpos de Prova

Após a preparação dos corpos de prova prende-se um pino ao aparelho perpendicular à superfície do revestimento com um adesivo. Depois de curado o adesivo, conecta-se o pistão (ou o dispositivo de tração) do aparelho à peça de ensaio e alinha-se para aplicar uma tensão perpendicular à superfície sob o ensaio (figura 8). A força aplicada ao pino é ajustada de acordo com o tipo de pistão escolhido para executar o ensaio. Deve-se monitorar o ensaio até que o pino se desprenda, ou um determinado valor seja atingido, em que obtém na análise primária, a tensão máxima de ruptura que uma área da superfície aguentar.

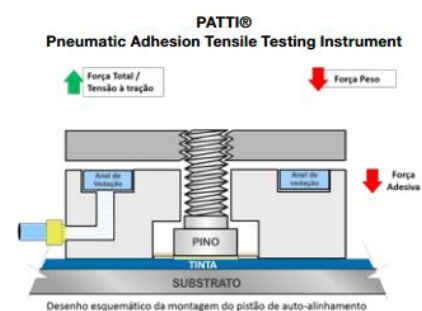


Figura 8. Ensaio de Aderência à Tração

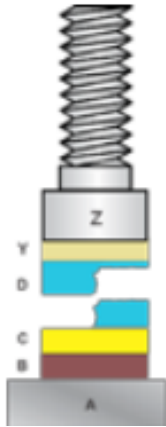


Figura 9: Ilustração da Natureza da Falha

O desprendimento do pino ocasiona uma superfície exposta fraturada indicando a falha onde se iniciou a ruptura ao longo do plano mais fraco dentro do sistema composto pelo pino, pistão, adesivo, sistema de pintura e substrato, ou seja, em análise secundária, a natureza da falha (figura 9).

A natureza da falha é detectada entre as falhas adesivas e coesivas nas camadas reais envolvidas no sistema, sendo quantificado o percentual da falha. A resistência do revestimento ao estresse de arranque deve ser calculada com base na pressão máxima de ruptura que é indicada no visor do equipamento, no peso e área do pistão, e na área do pino utilizado, sendo a mesma área da superfície originalmente submetida à tensão. Para facilitar o cálculo, fornecedores dos equipamentos disponibilizam tabelas de conversão de cada tipo de pistão com o pino padrão. Essas tabelas convertem a força atual aplicada à superfície do teste (tensão de ruptura) na tensão máxima de estresse de arranque (maior média de estresse aplicada durante o teste), sendo expresso em MPa ou Psi.

Para analisar a natureza da falha, a tabela 3 é utilizada como referência.

Tabela 3 - Descrição da Natureza da Falha de Aderência

Classificação	Natureza da falha
A	falha coesiva do substrato
A/B	falha adesiva entre o substrato e a primeira camada do revestimento
B	falha coesiva da primeira camada do revestimento (primer)
B/C	falha adesiva entre as camadas B e C
C	falha coesiva da camada C (intermediária)
C/D	falha adesiva entre as camadas C e D.
D	falha coesiva da camada D (acabamento)
D/Y	falha adesiva entre a última camada de tinta e o adesivo
Y	falha coesiva do adesivo
Y/Z	falha adesiva entre o adesivo e o pino ("dolly")

IV ANÁLISE DOS RESULTADOS

Em relação ao teste de aderência de tração pode-se observar que, na análise de ruptura (análise primária), a resina "Novolac" com flocos de vidro resistiu em média 28,3MPa de tensão aplicada ao pino, enquanto a resina epóxi poliamina sem flocos de vidro resistiu a 15,5MPa de tensão aplicada ao pino.

Para a análise secundária, utiliza-se a tabela 3 para analisar e descrever os resultados das falhas secundárias encontradas nos ensaios (Tabelas 4 e 5). Na tinta "Novolac" é possível detectar a natureza das falhas nos planos C que representa 95% das em média, sendo a falha coesiva da camada C - intermediária e no plano Y/Z que é a falha adesiva entre o adesivo e o pino, que representa 5% das falhas. Na resina epóxi com cura de poliamina sem flocos de vidro as falhas são do tipo B que é a falha coesiva da primeira camada do revestimento, representando em média 53,33% das falhas e do tipo C/D sendo a falha adesiva entre as camadas C e D, que representa 43,67% das falhas em média. Após analisar as falhas é possível constatar que a resina "Novolac" resistiu melhor à tração que a resina epóxi com cura de poliamina sem flocos de vidro. A tabela a seguir mostra os resultados encontrados nos testes propostos.

Tabela 4 - Teste Resina Epóxi com Cura de Poliamina sem Flocos de

Pino de Carga	PULL OFF		Tipo de Falha (%)	
	BP	MPa	B	C/D
P1	56,1	16,0	50	50
P2	54,7	15,7	50	50
P3	52,0	14,8	60	40

Tabela 5 - Teste Resina Epóxi “Novolac” com Flocos de Vidro

Pino de Carga	PULL OFF		Tipo de Falha (%)	
	BP	MPa	C	Y/Z
P1	109,0	>29,3	95	5
P2	104,7	>29,3	95	5
P3	90,3	26,3	95	5

V CONCLUSÃO

Constata-se previamente que a pintura industrial é um satisfatório método de proteção anticorrosiva em tanques de armazenamento com boa relação custo e benefício, sendo necessários estudos mais aprofundados para concluir tais observações.

A resina epóxi é um eficiente revestimento contra a corrosão e, de acordo com resultados apresentados nas tabelas 5 e 6, permitiram constatar que a tinta “Novolac” apresentou melhor aderência ao teste de tração em que a natureza das falhas foram nos planos C que representa a falha coesiva da camada C - intermediária e no plano Y/Z que é a falha adesiva entre o adesivo e o pino, além de demonstrar valores maiores de resistência à tração que foi em média de 28,3MPa e na resina epóxi com cura de poliamina sem flocos de vidro as falhas são do tipo B que é a falha coesiva da primeira camada do revestimento e do tipo B/Y sendo a falha adesiva entre as camadas C e D resistência média de 15,5MPa à tração, não apresentando boa aderência ao teste de tração.

A resina epóxi “novolac” curada com poliamina sem solvente pigmentada com flocos de vidro obteve melhor desempenho nos ensaios de tração em comparação com a resina epóxi curada com poliamina sem flocos de vidro, demonstrando maior aderência ao substrato.

REFERÊNCIAS

- [1] COSTA, Orlando. *Apostila de Tanques de Armazenamento -Curso de Inspeção de Equipamentos rev 04*, 2011.
- [2] CANTANHEDE, Terezinho; FILGUEIRAS, Samuel; CABEÇA, Marcelo Caetano Souza. “Estudo da taxa de corrosão (TC/TPC) através de ensaio de ultrassom em um tanque de armazenamento de derivados de petróleo: um estudo de caso”. Periódico do Centro de Estudos em Desenvolvimento Sustentável da UNDB - Revista do CEDS, 2014.
- [3] GENTIL, Vicente. *Corrosão 3ª edição* editora LTC. Rio de Janeiro, 1996.
- [4] Ferreira, Antonio, Luiz; Costacurta, Fernando, Rui; A.M. Sandra; Zdebsky.R Suzana . *Curso de Formação de operadores de refinaria – Química Aplicada –Corrosão*. Equipe Petrobras Petrobras / Abastecimento UN’s: Repar, Regap, Replan, Refap, RPBC, Recap, SIX, Revap. 2002
- [5] SANTOS, Rodrigo Nunes dos. “Tratamento de Superfícies Metálicas”. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2013.
- [6] LETA, Fabiana R; MAINER, Fernando B. “O ensino de Corrosão e de Técnicas Anticorrosivas Compatíveis com o Meio Ambiente” - Universidade Federal Fluminense.
- [7] Manual WEQ – Treinamento, Desenvolvimento Tecnológico T-12. Pinturas Industriais Líquidas.
- [8] LEITE, Souza O. Adriana. “Desenvolvimento e estudo de tintas epóxis anticorrosivas ecologicamente corretas”. Pós-graduação em química orgânica – Universidade Federal do Ceará, 2004.
- [9] CASTRO, Luciano Visceconde. “Qualidade da Pintura na Construção Naval”. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- [10] YAMANAKA, Hélio Tadashi. *Guia Técnico Ambiental*

de Tintas e Vernizes - SÉRIE P+L. CETESB - Companhia Tecnológica de Saneamento Ambiental, 2006.

[11] Mano, Elisa Bisoatto; Mendes, Luís Cláudio. *Introdução a Polímeros*, 2ª edição revista e ampliada. Editora Edgard Blücher LTDA. São Paulo, 2007.

[12] ARAVANTIS, Alexandros Leonidas. “Análise Comparativa da Eficiência da Polianilina na Tinta para Proteção Contra Corrosão e Uso Industrial”. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

[13] MAGNAN, Murilo de Carvalho. “Pintura na Proteção Anticorrosiva”. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, 2011.

[14] FAZENDA, Jorge M. R. *Tintas & Vernizes. Ciências e Tecnologia*, Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas, 3ª ed. São Paulo, Edgard Blücher, 2005.

[15] ALMEIDA, Nogueira, Cleber . Propriedades Mecânicas e Térmicas do Sistema Epóxi DGEBA/ETILENODIAMINA Modificado com Nanoplateformas de Silsesquioxano Substituídas com grupo Ésteres. Pós- Graduação Universidade Estadual Paulista. São Paulo, 2005.

[16] GONZAGA, Lia – Equipe Portal Metálica. “Jateamento, o que é e quais os tipos.” Portal Metálica Construção Civil, 2016.

[17] Livro Tanques de Armazenamento. Capítulo XX - Pintura e Proteção Catódica.

[18] MIRANDA, E. F. “Comportamento quanto à corrosão de aços inoxidáveis na produção do biodiesel”. Dissertação Engenharia em Processos Químicos e Bioquímicos Escola de Engenharia de Mauá, Instituto Mauá de Tecnologia. São Caetano do Sul, 2009.

[19] RODRIGUES, João Manuel Ventura – Aracruz Celulose SA. “Hidro-jateamento: Eficiência Técnica e Grande Risco Aliados à Segurança Máxima.” Congresso Brasileiro de Corrosão. Salvador, 2002.

[20] SILVA, Helton dos Santos; SILVA, Eduardo Freitas; WANDERLEY, Juliano Duarte; DERLAN, Tiago Maboni. Estudo dos Tópicos Operacionais no Processamento de Pigmentos, Tintas e Vernizes.