

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21 - 25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

TÉCNICAS DE ENGENHARIA APLICADAS EM MANUTENÇÃO DE TANQUES DE ARMAZENAMENTO DE PETRÓLEO: UMA REVISÃO

Ákilas Girão Modesto, akilas@petrobras.com.br¹
Fábio Campos Morais, fabiomorais@unifor.br²

¹Petrobras, Avenida Leite Barbosa, Mucuripe, Fortaleza-Ce

²Unifor, Avenida Washington Soares, 1321, Edson Queiroz, Fortaleza-Ce

Resumo: A crescente demanda por produtos derivados do petróleo tem proporcionado a necessidade cada vez maior de tanques de armazenamento que apresentem condições adequadas de operação. Este trabalho vem apresentar um estudo sobre as técnicas de engenharia utilizadas na manutenção desses tanques, abordando as principais etapas utilizadas durante os reparos, além de mostrar as vantagens e desvantagens do uso de cada técnica. A metodologia se concentrou em realizar uma pesquisa bibliográfica em normas, padrões de execução e outros trabalhos que abordassem as técnicas de engenharia. Foi realizada, assim, uma discussão entre as principais técnicas apresentadas, proporcionando a definição das mais vantajosas quanto aos critérios de saúde, segurança e meio ambiente, tempo, custo, e qualidade. Diante disso, foi possível concluir que houve, através da pesquisa, um melhor entendimento das normas e procedimentos estudados, proporcionando melhorias na gestão e na execução das atividades de manutenção dos tanques.

Palavras-chave: técnicas de engenharia, tanques de armazenamento, manutenção

1. INTRODUÇÃO

A exploração, produção e refino de derivados de petróleo no Brasil vêm crescendo a cada ano com as novas descobertas de poços de petróleo no país. Este crescimento está demandando cada vez mais a disponibilidade de tanques de armazenamento nas mais diversas etapas da cadeia de produção do petróleo e seus derivados. Em refinarias de petróleo, indústrias químicas e petroquímicas, os tanques de armazenamento constituem um conjunto importante de equipamentos que abrangem os mais variados usos, tais como o armazenamento de matérias-primas, insumos e produtos, o que possibilita a manutenção de estoques estratégicos dentro de seus limites, garantindo a continuidade operacional, em casos de interrupção do fornecimento de algum produto (NUNES, 2013). Percebe-se, com isso, a importância da manutenção dos tanques utilizados nesse processo, visto que a retirada dos mesmos de operação pode resultar em grandes prejuízos às empresas.

Os tanques de armazenamento utilizados em refinarias de petróleo são recipientes cuja finalidade é armazenar fluidos à pressão atmosférica, diferenciando-se dos reservatórios que são recipientes utilizados para conter fluidos a pressões maiores que a atmosférica. Os tanques têm a função de armazenar produtos de diversos tipos, podendo ser construídos de diversas formas e materiais a depender das características e do tipo de produto. Conforme Barros (2012), os tanques de armazenamento podem ser definidos também como equipamentos de caldeiraria pesada, destinados, principalmente, ao armazenamento de petróleo e seus derivados, sendo utilizados, frequentemente, em refinarias, terminais, bases de distribuição, parques industriais etc. Para o uso eficaz, os tanques devem passar por manutenções periódicas e regulares de forma a aumentar a operacionalização do equipamento e não permitir danos ao meio ambiente.

Na indústria petroquímica, a maior parte dos tanques de armazenamento é construído seguindo os requisitos do código americano API 650 - *Welded Steel Tanks for Oil Storage*, além da norma Petrobras N-270 - Projeto de Tanques Atmosféricos e a norma NBR 7821 - Tanques Soldados para Armazenamento de Petróleo e Derivados, publicado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

Este trabalho irá apresentar as principais técnicas de engenharia utilizadas nas etapas de manutenção de tanques atmosféricos para armazenamento de petróleo e seus derivados, abordando as melhores práticas recomendadas, além das vantagens e desvantagens na sua aplicação.

A metodologia proposta neste estudo foi a revisão bibliográfica das técnicas de engenharia. Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, este trabalho pode ser classificado também como pesquisa bibliográfica, visto que sua base teórica se concentrou nas normas técnicas da PETROBRAS, na Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT, nas normas regulamentadoras do ministério do trabalho e trabalhos científicos elaborados na área da indústria do petróleo.

No presente estudo foi definida a utilização de um tanque de armazenamento de petróleo de uma refinaria e observado todas as atividades de manutenção do mesmo. O trabalho descreveu cada técnica de engenharia aplicada em um sequenciamento lógico das etapas da manutenção, objetivando mostrar os detalhes de cada técnica, com ênfase nas vantagens e desvantagens de suas aplicações em relação à qualidade, custo, tempo, e segurança. Diante disso, através da apresentação de uma heurística, foram definidas as melhores técnicas a serem aplicadas na manutenção de tanques.

2. TÉCNICAS DE ENGENHARIA

2.1. Técnicas de Limpeza de Tanques

Os resíduos sólidos gerados na indústria de refino de petróleo têm sido um dos grandes causadores de problemas ambientais nos últimos anos. Segundo Mariano (2001), grande parte desses resíduos são encontrados em fundos de tanques de armazenamento de petróleo cru e derivados, como as borras oleosas. A limpeza e a destinação das borras de petróleo, acumuladas nos tanques de armazenamento de óleo combustível, trazem problemas ambientais e enormes prejuízos financeiros para as refinarias. A limpeza interna de tanques, que em muitos casos demora semanas para ser concluída, expõe também os trabalhadores e o meio ambiente aos riscos. Estes resíduos gerados podem variar significativamente quanto as suas características físico-químicas, tóxicas e seu efetivo potencial poluidor.

Conforme Cunha (2009 *apud* MARIANO, 2001), a disposição inadequada dos resíduos, devido as suas características perigosas, pode desencadear em uma série de problemas ambientais, além da migração dos componentes perigosos através do solo e água subterrânea, tais como, aspecto estético desagradável, maus odores, liberação de gases tóxicos e poluição do ar. Estes resíduos podem ainda causar alterações nas características químicas do solo, agredindo fauna e flora da região do impacto, bem como restringir o uso agrícola do solo e afetar as fundações das construções existentes na região.

Diante disso torna-se imprescindível o extremo cuidado durante o manejo dos resíduos gerados na manutenção de tanques atmosféricos. A presença de sólidos minerais no petróleo, tais como argila, sílica e calcita, e material oriundo de corrosão do processo, conferem maior dureza e densidade a mistura. A compactação do sedimento, associado à degradação dos compostos orgânicos ao longo do tempo de operação do tanque, leva à formação da borra, que se deposita no fundo dos tanques.

As borras oleosas são emulsões basicamente compostas por óleo, água e sólidos grosseiros e a sua composição é extremamente variável, dificultando o seu reaproveitamento, além de ausência de mobilidade na sua estrutura. É comum serem encontrados bolsões de água e de óleo no interior da borra de petróleo, classificando a mistura como resíduo perigoso de classe I. Diante dessas características, o acúmulo de borra pode comprometer a capacidade de armazenamento dos tanques e a especificação do produto armazenado, visto que a disposição responsável do resíduo de borra oleosa é um aspecto ambiental significativo para a indústria de petróleo e gás (ABREU; MAGALHÃES; GURGEL, 2012).

2.1.1. Técnica de limpeza manual

A limpeza de tanques que armazenam petróleo e seus derivados inicia-se bem antes da abertura das bocas de visita (BVs) e das portas de limpeza (PLs) desse equipamento. Semanas antes da abertura é realizada a circulação do produto do tanque, que passará por manutenção, com outros tanques utilizando uma temperatura mais elevada que a de operação. Esta medida busca reduzir a quantidade de borra acumulada no fundo após liberação do mesmo para limpeza manual.

A limpeza manual de tanques de armazenamento de petróleo ainda tem sido uma técnica bastante utilizada na manutenção de tanques. Esta técnica se dá pela retirada da borra do tanque através de ferramentas manuais, como rodos, raspadores e vassouras, por exemplo, movimentando toda a borra para fora do tanque através das portas de limpeza.

A vantagem na utilização dessa técnica tem sido a simplicidade das ferramentas de trabalho utilizadas, além da não utilização de equipamentos energizados. No entanto, essa técnica tem apresentado certas desvantagens que a tornam menos utilizada ao longo dos anos e que só mostra sua viabilidade quando utilizada junto com outras técnicas mais modernas. Abaixo observam-se algumas desvantagens da utilização isolada da limpeza manual:

- Dificuldade de movimentar alguns tipos de borra devido sua alta viscosidade;
- Demanda de grande número de pessoas dentro do tanque para movimentação da borra, aumentando os riscos de segurança;
- Prazo de limpeza longo, nas situações em que o tanque apresenta grande quantidade de borra gerada;
- Necessidade de grande quantidade de tambores para armazenamento e descarte da borra.

2.1.2. Técnica de Solubilização de Borra

A técnica de solubilização de borra é um procedimento adotado na limpeza de tanques que realiza a mistura da borra com um diluente no interior do mesmo, antes de abrir as portas de limpeza, através de um bico de jato multidirecional, denominado BR Mixer, e de uma estação de bombeamento. Após a solubilização, a borra é enviada para outro tanque de processo e reaproveitada como produto comercial, ou seja, os hidrocarbonetos presentes na borra são reintroduzidos no processo e se tornam produto de alto valor agregado. A Figura 1 mostra o diagrama de montagem do sistema de solubilização, composto de um canhão de jato BR-MIXER, instalado na boca de visita do tanque, da bomba de alta pressão e da tubulação de recirculação:

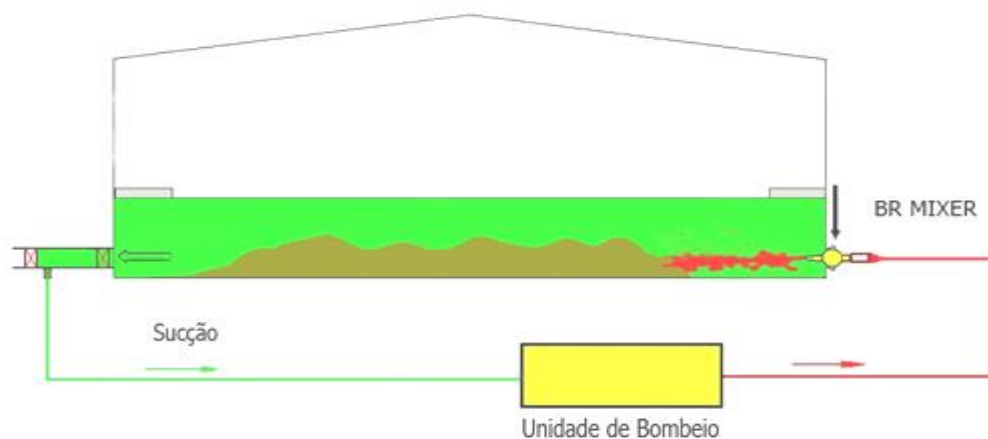


Figura 1 - Diagrama de montagem do sistema de solubilização

O sistema BR-MIXER utiliza alta vazão de recirculação e pressão necessária para solubilizar a borra oleosa pela agitação desta com o diluente, permitindo assim a limpeza do tanque de forma rápida e eficiente. A mistura acontece de forma intensa e contínua por aproximadamente 72 horas, dependendo da quantidade de borra e das dimensões do tanque. Isso acontece por meio de unidades de bombeio e do bico de jato multidirecional, além do aquecimento dos produtos, em torno de 120°C, a partir da circulação de vapor nas serpentinas. A solubilização permite a transferência e a reintrodução dos hidrocarbonetos da borra, transformando a borra em bunker (produto de valor superior a borra) e encaminhando-o para comercialização.

A limpeza por solubilização proporciona a redução do entamboramento e a redução da exposição do trabalhador. A seguir estão listados, resumidamente, os principais ganhos com a utilização da técnica da solubilização de borra:

- Menor custo para remoção da borra e limpeza do fundo do tanque;
- Menor custo de produto perdido ou derramado;
- Menor custo com tratamento do resíduo retirado manualmente;
- Maior segurança operacional em SMS no processo de remoção de borra pela redução da exposição de homem-hora ao risco;
- Aumento da disponibilidade operacional pela redução do tempo de limpeza.

Apesar da inquestionável viabilidade técnica e econômica, a remoção de borra por solubilização apresenta algumas limitações, como a inviabilidade de limpeza para nível de borra do tanque acima de 0,4 metros e a necessidade de acesso de homens no interior do tanque para realização de limpeza final.

2.2. Técnicas de Inspeção

A atividade de inspeção de tanques de armazenamento pode ser realizada durante operação ou em parada de manutenção do equipamento. É imprescindível a avaliação dos resultados da inspeção, já que os mesmos irão orientar as etapas dos serviços de manutenção. Nesta verificação observa-se a deterioração do equipamento e a possível existência de vazamentos a fim de prevenir perdas do material armazenado, diminuir áreas perigosas e salvaguardar a integridade humana e o patrimônio industrial. Segundo Mota (2003), as atividades de inspeção, durante a vida útil de uma planta industrial, demonstraram, ao longo dos anos, que as intervenções de manutenção são distribuídas sob a orientação de diversas premissas, como atendimento a requisitos legais, disponibilidade dos equipamentos e minimização dos riscos de falhas em operação.

A inspeção em tanques deve ser realizada seguindo as normas API 653 – Inspeção, Manutenção e Reparos em Tanques e a norma Petrobras N-2318 – Inspeção de tanque atmosférico. A norma N-2789 - Inspeção em Serviços de Reservatórios Atmosféricos de Uso Geral fixa as condições de inspeção de serviço de reservatórios de uso geral não

coberto pela N-2318. Devem ser considerados também os conhecimentos acumulados das práticas e conhecimentos de engenharia nas indústrias de refino de petróleo, petroquímica e outras.

Os Ensaios Não Destrutivos (ENDs) são técnicas utilizadas na inspeção de materiais e equipamentos, sem danificá-los, durante as etapas de fabricação, construção, montagem e manutenção. Os ENDs são a ferramenta pela qual a inspeção é realizada nos tanques. Estes contribuem para a qualidade dos serviços e redução dos custos, além de orientar os serviços de manutenção. Os tipos de ensaios mais utilizados em tanques de armazenamento são:

- Visual: ensaio onde são observadas as alterações dimensionais, o padrão de acabamento e as descontinuidades superficiais, tais como trinca, corrosão, deformação, alinhamento, cavidade e porosidade.

- Medição de espessura: este ensaio detecta descontinuidades internas nas chapas do tanque, baseando-se no fenômeno de reflexão de ondas acústicas, quando são encontrados obstáculos à sua propagação dentro do material, ou seja, trata-se da técnica de ultrassom, que apresentam ondas com frequências acima do limite audível. A seleção da frequência permite também ajustar o ensaio aos diversos tipos de materiais e sua estrutura (PEREIRA, 2013). É comum a utilização desse ensaio para avaliar a espessura de trechos do costado do tanque, definindo assim o momento em que o mesmo sairá de operação para iniciar uma manutenção geral.

- Líquido penetrante: ensaio que detecta descontinuidades superficiais em materiais não porosos. Sua utilização é muito comum para avaliar a qualidade das soldas realizadas nas chapas do fundo, teto e costado do tanque. Segundo Pereira (2013), trata-se de um ensaio superficial de inspeção indireta já que utiliza um penetrante que se introduz nos defeitos superficiais, no qual, após a aplicação de um revelador, podem ser observadas as fissuras.

- MFL - *Magnetic Flux Leakage*: o monitoramento de tanques, sob condições controladas, fornece informações essenciais da situação de integridade do fundo dos mesmos. O ensaio por MFL normalmente é utilizado para avaliação das chapas de fundo do tanque e consiste em avaliar a variação no fluxo de campo magnético ocasionado por descontinuidades geométricas nas seções das chapas. Dessa forma, será possível detectar, por exemplo, corrosão do lado externo da chapa.

- Radiografia industrial: este ensaio é um dos principais métodos de ensaio não destrutivo usados em indústrias e baseia-se na diferente absorção de radiação penetrante, pelo material em estudo, sejam eles metais fundidos, soldaduras, ou outros, para detectar variações de espessuras, defeitos ou falhas (BENEDETTE; MONÇÃO NETO, 2013 *Apud* MIRANDA, 2011). Devido à dificuldade de mobilização dos equipamentos, este ensaio é menos utilizado que os demais, porém de melhor avaliação do material, pois detecta todas as descontinuidades, nas mais variadas espessuras. Normalmente é utilizado, apenas quando exigido por norma, para substituição de chapas do costado.

Os intervalos entre as inspeções de um tanque, seja ela interna ou externa, poderá ser determinado pelo seu histórico para cada serviço, a menos que outras razões indiquem que sua inspeção deva ser antecipada.

2.3 Técnicas de Caldeiraria

As atividades de caldeiraria compreendem os principais serviços na manutenção de um tanque de armazenamento de petróleo. É nesta etapa que são realizadas a substituição e os reparos dos componentes do tanque, utilizando as atividades de corte, solda e esmerilhamento. Destaca-se aqui, as atividades de soldagem, visto que as mesmas irão garantir a integridade do equipamento quanto a possíveis vazamentos.

A soldagem em tanques de armazenamento deve ser executada utilizando os processos de soldagem apropriados para o trecho a ser reparado no tanque. Normalmente são utilizados os processos de soldagem com eletrodo revestido nas soldas do costado e teto, e arame tubular para soldas no fundo.

A soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido (*Shielded Metal Arc Welding* – SMAW), também conhecido como soldagem manual a arco elétrico, é o mais largamente empregado dos vários processos de soldagem. A soldagem é realizada com o calor de um arco elétrico mantido entre a extremidade de um eletrodo metálico revestido e a peça de trabalho, conforme observado na Fig. 2 a seguir:

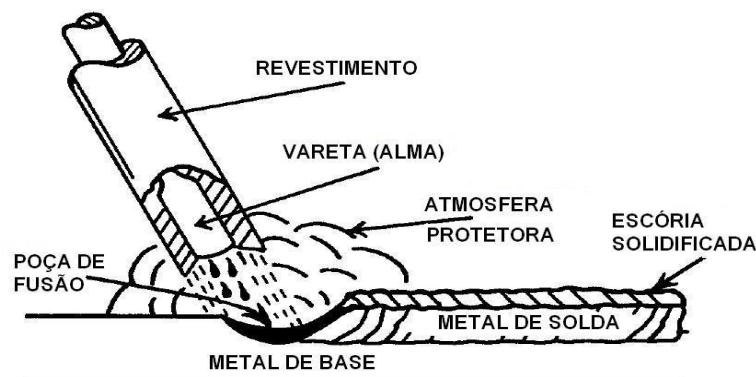


Figura 2 - Soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido

Já para os reparos de solda realizadas no fundo de tanques é comum a utilização do processo de soldagem a arco elétrico com arames tubulares ou FCAW (Flux-core arc welding). Os arames tubulares foram desenvolvidos principalmente para atender a necessidade das empresas manterem sua competitividade através do aumento da produtividade e da redução de custos. Conforme Figueiredo (2005), este processo é semelhante ao GMAW (Gas Metal Arc Welding) também conhecido por MIG/MAG, porém a proteção da poça de solda provém dos gases e escória gerados pelo fluxo que se encontra no interior do eletrodo tubular.

A correta seleção dos parâmetros de soldagem é essencial para a obtenção de uma junta soldada de qualidade. Na soldagem manual com eletrodos revestidos, por exemplo, estes parâmetros compreendem, entre outros, o tipo e diâmetro do eletrodo, o tipo, a polaridade e o valor da corrente de soldagem, a tensão e o comprimento do arco, a velocidade de soldagem e a técnica de manipulação do eletrodo. Para um dado tipo de eletrodo, o seu diâmetro define a faixa de corrente em que este pode ser usado. A seleção deste diâmetro para uma dada aplicação depende de fatores sensíveis à corrente de soldagem, como a espessura do material e a posição de soldagem.

Alguns cuidados também devem ser observados durante a execução da soldagem, como:

- Não haver contato de peças de cobre com as áreas aquecidas ou fundidas pela soldagem, excetuando-se as barras para proteção lateral da soldagem eletro-gás e cobre-juntas de cobre não consumíveis;
- O arco elétrico de soldagem deve ser aberto no chanfro ou numa chapa apêndice utilizado para esse fim;
- As peças a serem soldadas devem estar isentas de óleo, graxa, ferrugem, tinta, resíduos de líquidos penetrantes, areia e fuligem do pré-aquecimento a gás;
- As irregularidades e escórias do oxi-corte devem ser removidas, no mínimo, por esmerilhamento;
- Os depósitos de carbono, escórias e cobre resultante do corte com eletrodo de carbono devem ser removidos;
- As ferramentas de remoção de escória não devem ser de cobre ou ligas de cobre;
- Durante a soldagem, todas as impurezas e defeitos visíveis devem ser removidos.

Quanto aos consumíveis deve-se observar a embalagem que deve indicar de modo legível a marca comercial, especificação, classificação, diâmetro, número da corrida e data de fabricação. O eletrodo revestido deve dispor de identificação individual por meio de inscrição legível e sem rasuras ou código de cores, conforme indicado na embalagem. O consumível específico de um determinado processo de soldagem não pode ser empregado em outro processo, a menos por indicação expressa do fabricante ou responsável pelo projeto.

Os eletrodos, varetas e fluxos devem ser armazenados em estufas que atendam as condições de cada especificação de eletrodo. A estufa para armazenagem ou recebimento de eletrodos revestidos, eletrodos nus, eletrodos tubulares, varetas e fluxos deve dispor de meio de aquecimento, termômetro e higrômetro. As estufas para secagem de eletrodos revestidos e fluxos devem dispor de resistências elétricas, para controlar e manter a temperatura de até 400°C, e de termômetro, termostato e respiro com diâmetro superior a 10 mm (PETROBRAS, 2015).

2.3.1 Técnica de Reparos no Fundo

As manutenções do fundo de tanques seguem as normas de projeto de construção do mesmo, que deve envolver conceitos de declividade, disposição de chapas e dimensões do material. O contorno do fundo de tanques pode ser realizado utilizando chapas anulares ou recortadas. A qualidade mínima para o material de todas as chapas é a especificação em aço carbono ASTM A283 Gr C. As chapas devem ser da mesma especificação de material utilizada no primeiro anel do costado e apresentar bordas aparadas e espessura mínima de 6 mm, excluída qualquer sobresspessura de corrosão (BARROS, 2012).

Conforme PETROBRAS (2013), os tanques devem apresentar o fundo padrão com inclinação mínima de 1:120 do centro para periferia. Algumas exceções precisam ser observadas como a utilização de fundo plano para tanques com até seis metros de diâmetro e declividade da periferia para o centro, em caso de tanques que armazenam gasolina de aviação (GAV), querosene de aviação (QAV) ou biodiesel.

Abaixo seguem os principais serviços de caldeiraria realizados durante os reparos no fundo de tanques:

- Remoção de chapas do fundo do tanque: é recomendada a retirada total caso metade das chapas apresentem danos;
- Substituição de chapas do fundo do tanque: pode ser utilizado o recurso de chapas sobrepostas nas regiões comprometidas ou simplesmente substituir as chapas danificadas;
- Instalação de chapas de reforço: é recomendada a instalação de uma chapa entre o fundo e as colunas de sustentação do teto com o objetivo de diminuir a possibilidade de furos nesse ponto pelo efeito da corrosão. Essas chapas podem ser usadas também nos suportes das serpentinas, caso seja necessário;
- Substituição das chapas anulares: caso seja necessária a substituição das chapas da periferia, que estão soldadas com o costado será necessário, obrigatoriamente, a realização de teste hidrostático após os serviços;
- Alterações na chapa defletora: é recomendado que o prolongamento da chapa do fundo (externo ao tanque) apresente o decaimento necessário para não haver empoçamento de água e gere um posterior ponto de corrosão;
- Enchimento de solda: observa-se em alguns tanques a presença de furos na chapa do fundo. Nesses casos, em vez substituir toda a chapa, realiza-se o enchimento do furo com solda;
- Substituição da serpentina: Após os resultados da inspeção define-se a substituição de trechos da serpentina ou simplesmente a instalação de luvas em pontos específicos propícios a corrosão.

2.3.2 Técnica de Reparos no Costado

O costado é a parte estrutural que está submetida às cargas mais altas de um tanque de armazenamento. É a lateral (chapas verticais) do tanque e é composto por vários anéis, dependendo da altura do tanque. Em refinarias, observa-se a incidência de maior corrosão nas chapas dos anéis intermediários, atingindo, em alguns casos, até 0,8 milímetros por ano (mm/ano) de perda de espessura.

Segundo a ABNT (1983), o costado do tanque deve ser projetado de modo que todos os anéis estejam em posição vertical. O alinhamento das chapas do costado pode ser feito segundo a face interna ou segundo a linha de centro das chapas de forma que as juntas verticais de anéis adjacentes estejam defasadas de uma distância de cinco vezes a espessura nominal do anel mais espesso dos anéis em questão.

Os reparos nas chapas corroídas podem ser realizados com a utilização do método de sobreposição de novas chapas, método permitido pela norma API 653 (Inspeção, Manutenção e Reparos em Tanques), desde que a chapa não exceda em 0,5 polegadas.

2.3.3 Técnica de Reparos no Teto

Os tanques de armazenamento, independentemente do tipo de configuração, devem ser projetados para suportar sua carga morta (peso próprio das chapas do teto e da estrutura de sustentação) mais uma sobrecarga correspondente a uma carga viva (ações do meio ambiente, por exemplo). A recuperação de tetos fixos corroídos pode ser realizada por sobreposição, substituição parcial das chapas danificadas ou a troca de todo o teto. Neste último caso tem-se adotado a prática da substituição da chapa de aço carbono pelo aço inoxidável.

A utilização de chapas de aço inox em tetos fixos de tanques de armazenamento vem se tornando cada vez mais comum em refinarias de petróleo. A espessura nominal mínima das chapas do teto é de 4,75 mm (3/16 polegadas), adotando-se essa espessura sempre que possível. Para tal espessura o material deve ser o aço carbono, de qualidade estrutural, ASTM A1011 Gr 33 ou ASTM A 283 Gr C, com largura mínima de 1500 mm. Para produtos armazenados apresentando alta taxa de corrosão no teto, após a devida análise técnico-econômica, é permitido utilizar chapas ou bobinas de aço inoxidável no teto com espessura mínima de 4 mm (BARROS, 2012).

A seguir estão listadas as principais vantagens da utilização do aço inoxidável abordadas por Rudek Junior, Costacurta e Baião (2000):

- Maior resistência ao acentuado processo corrosivo observado em alguns tanques de armazenamento que apresentam, em alguns casos, taxas de corrosão maiores que 1 mm / ano;
- Diminuição nos reparos de manutenção, principalmente com o aumento cada vez maior dos prazos de campanha dos tanques;
- Diminuição do peso do teto com a diminuição da espessura com o aço inox. Neste caso é recomendada a utilização de Sistema de Proteção de Descarga Atmosférica – SPDA;
- Custo total da substituição do teto menor, visto que a eliminação da etapa de pintura da chapa permitirá a redução dos custos de material e mão de obra.

2.4 Técnicas de Tratamento e Pintura de Superfícies

A pintura industrial tem como finalidade principal a proteção anticorrosiva e sua aplicação é feita por instalações móveis, tais como máquinas para jateamento abrasivo, pistolas ou outros equipamentos para aplicação das tintas (NUNES; LOBO, 2007). A etapa de tratamento e pintura de um tanque de armazenamento é realizada após a conclusão dos serviços de caldeiraria ou, em alguns casos, em paralelo, quando realizados serviços simultâneos internos e externos. Nessa etapa é definida a área do tanque a ser pintada, de acordo com o tipo de produto que será armazenado.

A norma PETROBRAS N-2913 - Revestimentos Anticorrosivos para Tanque, Esfera e Cilindro de Armazenamento orienta a utilização do correto esquema de pintura a ser utilizado em cada trecho do tanque. Outras normas também utilizadas são as normas ABNT NBR 14847 (Inspeção de serviços de pintura em superfícies metálicas - Procedimento) e PETROBRAS N-13 (Requisitos Técnicos para Serviços de Pintura).

A etapa de pintura de um tanque de armazenamento deve ser iniciada com uma inspeção visual para observação das imperfeições decorrentes de corte e soldagem, vestígios de óleo, graxa, cimento, concreto, gordura, carepa de laminação, pontos de corrosão e outros materiais estranhos que sejam oriundos das etapas anteriores de caldeiraria. Deve ser observado o grau de corrosão da superfície inspecionada, além dos pontos onde a pintura estiver danificada. Em seguida é realizada a 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.

Logo após a limpeza, o tratamento da superfície é iniciado 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 e restos de carepa de laminação, de forma que a superfície a pintar apresente o acabamento exigido para a tinta a ser aplicada.

O tratamento por jateamento abrasivo é mais rápido que outros métodos para tratamento de superfícies por decapagem química, além do menor tempo de trabalho e sem a necessidade de tratamento dos efluentes líquidos (SANTOS, 2003). A seguir estão listados os graus de preparação de superfície de aço com jato abrasivo:

- Grau Sa 1 – Limpeza por jateamento abrasivo ligeiro
- Grau Sa 2 – Limpeza por jateamento abrasivo comercial
- Grau Sa 2 ½ - Limpeza por jateamento abrasivo ao metal quase branco
- Grau Sa 3 – Limpeza por jateamento abrasivo ao metal branco

A pintura propriamente dita pode ser iniciada interna ou externamente ao tanque na superfície onde foi realizado o tratamento. Segundo a PETROBRAS (2012), nos tanques de teto fixo que armazenam petróleo, deve ser realizada a pintura interna do fundo e do teto completamente. Em relação ao costado e as colunas de sustentação a norma orienta a pintura de uma faixa de 1 metro de altura a partir do fundo e outra a partir do teto. Já a pintura externa é realizada em 100% da área do costado e teto e deve ser definida levando-se em conta a redução das perdas por evaporação, os ambientes corrosivos, as temperaturas a que o tanque está sujeito e a presença ou não de isolamento térmico.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O trabalho aqui exposto apresentou as principais técnicas de engenharia utilizadas na manutenção de tanques na indústria do petróleo. Observou-se com o estudo dessas técnicas que algumas apresentaram maiores vantagens em sua aplicação em detrimento de outras, conforme foi abordado em todo o capítulo dois. Demonstrando o conhecimento adquirido através da revisão bibliográfica, percebeu-se a oportunidade de estudar um processo que apresentasse soluções para definir qual técnica é a mais adequada na manutenção de tanques de refinarias, utilizando para isto o desenvolvimento de uma heurística.

As diferenças observadas entre as técnicas de engenharia estudadas apresentaram, em algumas situações, comportamentos característicos em relação às variáveis de SMS (Saúde, Segurança e Meio ambiente), custo, qualidade e tempo, durante as atividades de manutenção de um tanque de armazenamento. Dessa forma, foram atribuídos critérios para avaliação de cada variável nas técnicas estudadas, sendo estes critérios definidos através da experiência de profissionais e especialistas da área de manutenção em tanques de armazenamento de petróleo. Abaixo seguem as variáveis com a descrição dos critérios utilizados para comparação entre as técnicas:

- SMS (Saúde, Segurança e Meio ambiente): esta variável permitiu identificar os riscos envolvidos quanto à quantidade de doenças que a técnica pode causar ao trabalhador ou quanto ao número de acidentes que podem acontecer pela exposição de homem-hora nas frentes de serviços ou mesmo quanto a possíveis impactos ambientais que a técnica pode proporcionar;
- Custo: esta análise se referiu ao investimento financeiro necessário para realização das atividades da técnica, de forma que foi considerado o custo de aquisição dos materiais e equipamentos envolvidos;
- Qualidade: nesta variável foi observado estritamente se as atividades da técnica atendem todas as normas e procedimentos exigidos;
- Tempo: a avaliação das técnicas de engenharia em relação a variável tempo permitiu identificar a técnica que pode ser executada mais rapidamente, ou seja, identificou a técnica que apresenta o tempo total menor na realização das suas atividades.

Diante disso, através das tabelas de comparação entre as técnicas, pode-se discutir a melhor técnica ou combinação destas para aplicação na manutenção de tanques de armazenamento. Foram comparadas duas técnicas dentro de cada etapa da manutenção de tanques e foram atribuídos notas 1 para técnica menos vantajosa e 2 para técnica mais vantajosa em cada variável. Torna-se necessário observar que as variáveis apresentam importâncias diferentes durante a definição da melhor técnica a ser utilizada. Dessa forma, atribuiu-se peso 4 para nota dada às técnicas na variável de SMS (Saúde, Segurança e Meio Ambiente), peso 3 na variável custo, peso 2 no quesito qualidade e peso 1 para tempo.

Tabela 1 - Comparativo entre técnicas de limpeza de tanques

Técnicas/Variáveis	SMS (x4)	Custo (x3)	Qualidade (x2)	Tempo (x1)	Total
Limpeza Manual	1	2	-	1	11
Solubilização de Borra	2	1	-	2	13

A Tabela 1 apresenta o comparativo entre as técnicas de limpeza de tanques. Em relação a variável SMS, observa-se que a técnica por solubilização de borra é mais vantajosa por apresentar menor possibilidade de doenças e acidentes de trabalho. A técnica por solubilização proporciona, dessa forma, menor contato do executante com a borra do que a técnica por limpeza manual. Outro fator que contribui para essa vantagem é a quantidade de geração de borra para descarte, que é menor na técnica por solubilização, gerando menor possibilidade de impactos ambientais.

A variável custo também foi avaliada, de forma que a técnica por solubilização de borra se mostrou menos vantajosa por apresentar alto investimento nos equipamentos de bombeio e solubilização, diferentemente na limpeza manual que utiliza apenas ferramentas manuais. Por fim, a técnica por solubilização apresenta vantagem em relação a variável tempo, pois a execução das atividades dessa técnica é realizada em tempo bem menor que a limpeza manual. Já a variável qualidade não foi avaliada, visto que os dois tipos de limpeza cumprem as normas e procedimentos exigidos.

Diante dessa avaliação, observa-se pelos resultados da tabela que houve superioridade na pontuação final da técnica por solubilização, sendo esta recomendada na manutenção de tanques.

Tabela 2 - Comparativo entre técnicas de inspeção

Técnicas/Variáveis	SMS (x4)	Custo (x3)	Qualidade (x2)	Tempo (x1)	Total
Inspeção por medição de espessura	1	2	1	1	13
Inspeção por MFL - <i>Magnetic Flux Leakage</i>	2	1	2	2	17

Na Tabela 2 observa-se a vantagem da técnica MFL na avaliação de todas as variáveis estudadas, exceto custo. Na variável SMS a técnica por MFL apresenta ganhos de ergonomia, evitando quaisquer doenças do trabalho decorrentes do manuseio do equipamento de alta tecnologia utilizado nesta técnica. A técnica por medição de espessura permite que o executante realize frequentes movimentos não adequados, podendo trazer prejuízos a sua saúde. Já em relação a variável custo, a técnica por MFL apresentou desvantagem com o investimento financeiro nesta nova tecnologia de inspeção.

A inspeção por MFL apresentou vantagens por realizar uma varredura de toda a chapa de fundo do tanque, reduzindo assim a probabilidade de erros. A técnica por medição de espessura realiza essa varredura por amostragens, permitindo que possíveis defeitos na chapa não sejam avaliados e que o serviço possa ser realizado fora dos padrões especificados em normas, proporcionando assim maior vantagem da técnica MFL na avaliação da variável qualidade. Em relação a variável tempo a vantagem da técnica MFL aconteceu pela rapidez com que esta técnica é realizada, em comparação com a medição por espessura, visto que o equipamento permite fácil movimentação no fundo do tanque. Diante disso, observando a coluna total de pontos, recomenda-se a técnica por MFL na manutenção de tanques.

Tabela 3 - Comparativo entre técnicas de caldeiraria

Técnicas/Variáveis	SMS (x4)	Custo (x3)	Qualidade (x2)	Tempo (x1)	Total
Soldagem Eletrodo Revestido	-	2	-	1	7
Soldagem Arame Tubular	-	1	-	2	5

As técnicas de soldagem da Tab. 3 são utilizadas nos reparos do teto, costado e fundo dos tanques. Em relação a variável custo, percebe-se que a soldagem por eletrodo revestido apresenta vantagem por apresentar investimento menor em materiais e equipamentos em comparação ao arame tubular. Em relação a variável tempo, a técnica por arame tubular é realizada de forma mais rápida, contribuindo para uma maior produtividade dos serviços. As variáveis SMS e qualidade não apresentam diferenças consideráveis em relação aos critérios adotados para avaliação das duas técnicas de caldeiraria. Portanto, diante do somatório total, orienta-se a utilização da soldagem por eletrodo revestido em tanques, considerando os critérios adotados para as variáveis que foram estudadas.

Tabela 4 - Comparativo entre técnicas de tratamento e pintura

Técnicas/Variáveis	SMS (x4)	Custo (x3)	Qualidade (x2)	Tempo (x1)	Total
Tratamento mecânico	1	2	1	1	13
Tratamento por jateamento	2	1	2	2	17

A técnica de tratamento por jateamento tem se mostrado bem vantajosa, como visto na Tab. 4, durante a manutenção de tanques de armazenamento de petróleo. Apesar da quantidade de poeira gerada pelo jato abrasivo, o tratamento por jateamento expõe menos pessoas na frente de serviço, visto que o bico de jateamento alcança uma área tratada bem superior aos demais tratamentos, evitando assim um grande número de trabalhadores, como é identificado no tratamento mecânico. Em relação à variável custo observa-se que a técnica por jateamento apresenta desvantagem, pois o custo total dos serviços, proporcionado pela aquisição dos materiais e equipamentos, como abrasivos e compressores, por exemplo, é superior ao tratamento mecânico.

A técnica por jateamento é mais vantajosa em relação a variável qualidade, visto que este tipo de tratamento permite um perfil de ancoragem mais adequado para aplicação da tinta. A técnica por tratamento mecânico pode possibilitar uma rugosidade abaixo do recomendado em normas, contribuindo assim para que o serviço aconteça fora dos procedimentos de pintura. Em relação ao tempo, o jateamento possibilita a realização dos serviços de forma mais rápida que o tratamento mecânico, considerando os serviços realizados em uma mesma área do tanque. Diante disso, percebe-se a definição pelo uso da técnica por jateamento, visto que apresenta maior pontuação no somatório total.

Portanto, diante das comparações realizadas entre as técnicas de engenharia apresentadas nas tabelas, definiu-se que as técnicas que apresentaram maior pontuação total em cada tabela são as mais adequadas para serem utilizadas em

manutenção de tanques de armazenamento de petróleo e seus derivados em refinarias. Esta definição seguiu os critérios que foram definidos para cada variável estudada.

4 CONCLUSÕES

Este trabalho propôs uma apresentação das etapas de manutenção de tanques de refinarias de petróleo, enfatizando os benefícios na utilização das técnicas de engenharia abordadas. O desenvolvimento apresentado aqui, através das normas e trabalhos citados, mostrou-se oportuno, visto que a manutenção dos tanques é uma atividade necessária e constante nas refinarias. Através do conhecimento e melhor entendimento das normas técnicas, foi possível uma compreensão maior de suas funções, assim como o valor de utilizá-las no dia a dia de trabalho nos mais diversos setores e gerências de manutenção no ramo da indústria do petróleo.

A opção por discorrer sobre as principais etapas na manutenção de tanques permitiu também o entendimento de uma forma lógica na apresentação de cada etapa, beneficiando com isso, a identificação de pontos de melhorias durante a aplicação dessas técnicas, além de proporcionar ganhos na gestão e planejamento dessas atividades.

Outro ganho importante foram os efeitos da heurística realizada entre algumas técnicas, através dos resultados observados nas tabelas, onde foram definidas as melhores técnicas a serem aplicadas na manutenção de tanques, conforme os critérios adotados para as variáveis que foram estudadas em cada etapa de manutenção. Portanto, a metodologia desenvolvida mostra-se relevante, de forma que estudos futuros podem ser realizados através de inovações para melhoria dos resultados das empresas, através da redução dos custos de manutenção e minimização das perdas, tornando o ramo da indústria do petróleo mais competitivo.

5 REFERÊNCIAS

- ABREU, Monica Cavalcanti Sá; MAGALHÃES, Liciane Carneiro; GURGEL, Carlos José Holanda. **Gerenciamento de resíduos sólidos perigosos: uma avaliação da gestão ambiental da borra oleosa na Petrobras/Lubnor. Produto & Produção**, Fortaleza, v. 13, n. 3, p.75-93, out. 2012.
- American Petroleum Institute, **Welded tanks for oil storage**. 11ed., Washington: American Petroleum Institute, June 2007. Add. 1, Nov. 2008. Add.2, Nov. 2009. Add.3, Aug.2011.Errata October 2011.API STD 650.
- American Petroleum Institute, **Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction**. 5ed., Washington: American Petroleum Institute, November 2014. API STD 653.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7821: Tanques soldados para armazenamento de petróleo e derivados**. Rio de Janeiro: ABNT, abr.1983. 118 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14847: Inspeção de serviços de pintura em superfícies metálicas – Procedimento**. Rio de Janeiro: Abnt, 2002. 5 p.
- BARROS, Stênio Monteiro de. **Tanques de Armazenamento**. Rio de Janeiro: Petrobras. Recursos Humanos. Universidade Petrobras, 2012. 602 p.
- BENEDETTE, Carlos Eduardo Paro; MONÇÃO NETO, Manoel Rodrigues. **Controle de qualidade em juntas soldadas: Um estudo de caso em fabricante de equipamentos criogênicos**. In: SIMPÓSIO ACADÊMICO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 8., 2013, Viçosa. **Artigo**. Viçosa: Saepro, 2013.
- CUNHA, Carlos Eduardo Soares Canejo Pinheiro da. **Gestão de resíduos perigosos em refinarias de petróleo**. 2009. 134 f. **Dissertação** (Mestrado) - Curso de Engenharia Sanitária e Meio Ambiente, Centro de Tecnologia e Ciências Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- FIGUEIREDO, Kléber Mendes de. **TECNOLOGIA DA SOLDAGEM**. São Luís: Centro Federal de Educação Tecnológica do Maranhão, Departamento de Mecânica e Materiais, 2005. 110 p.
- MARIANO, Jacqueline Barboza. **IMPACTOS AMBIENTAIS DO REFINO DE PETRÓLEO**. 2001. 216 f. **Dissertação** (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação de Engenharia, Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.
- MOTA, Joelma Gonçalves Damasceno. **INSPEÇÃO BASEADA EM RISCO APLICADA AO PLANEJAMENTO DE PARADAS DE MANUTENÇÃO**. In: PAN - AMERICAN CONFERENCE FOR NONDESTRUCTIVE TESTING, 3., 2003, Rio de Janeiro: Panndt, 2003.
- NUNES, Laerce de Paula; LOBO, Alfredo Carlos O.. **Pintura Industrial na Proteção Anticorrosiva**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, PETROBRAS, 2007. 332 p.
- PEREIRA, João Adriano Vieira. **ESTUDO E APLICAÇÃO DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS. Líquidos penetrantes, Ultrassons, Radiografia digital – Técnica tangencial medição de espessura**. 2013. 72 f. **Dissertação** – Mestrado Integrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, FEUP, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2013.
- PETRÓLEO BRASILEIRO S.A.. **N-2913: Revestimentos Anticorrosivos para Tanque, Esfera e Cilindro de Armazenamento**. Rio de Janeiro: Comissão de Normalização Técnica - Contec, 2012b. 24 p.
- PETRÓLEO BRASILEIRO S.A.. **N-13: Requisitos Técnicos para Serviços de Pintura**. Rio de Janeiro: Comissão de Normalização Técnica - Contec, 2012. 29 p.
- PETRÓLEO BRASILEIRO S.A.. **N-270: Projeto de Tanque de Armazenamento Atmosférico**. Rio de Janeiro: Comissão de Normalização Técnica - Contec, 2013. 71 p.

- PETRÓLEO BRASILEIRO S.A.. N-133: **Soldagem**. Rio de Janeiro: Comissão de Normalização Técnica - Contec, 2015. 110 p.
- RUDEK JUNIOR, Romildo; COSTACURTA, Rui Fernando; BAIÃO, Marcelo Rocha. **Solução para Substituição de Tetos Fixos em Tanques Sujeitos a Corrosão por H₂S**. [s.l.]: Un-repar, 2000. 13 p.
- SANTOS, Rodrigo Nunes dos. **Tratamento de Superfícies Metálicas de Tanques de Estocagem**. 2003. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2003.

6 RESPONSABILIDADE AUTORAL

ENGINEERING TECHNIQUES APPLIED IN OIL STORAGE TANKS MAINTENANCE: A REVIEW

Ákilas Girão Modesto, akilas@petrobras.com.br¹
Fábio Campos Morais, fabiomorais@unifor.br²

¹Petrobras, Leite Barbosa Avenue, Mucuripe, Fortaleza-Ce

²Unifor, Washington Soares Avenue, 1321, Edson Queiroz, Fortaleza-Ce

Abstract. *The growing demand for oil products has provided the growing need for storage tanks that have proper operating condition. This work is to present a study on the engineering techniques used in the maintenance of these tanks, addressing the major steps used in making repairs, and show the advantages and disadvantages of using each technique. The methodology focused on performing a literature search on standards, performance standards and other works that addressed the engineering techniques. It was held, so a discussion of the key techniques presented, providing the definition of the most advantageous as the health criteria, safety and environment, time, cost, quality and workmanship. Therefore, it was concluded that there was, through research, a better understanding of the studied rules and procedures, providing improvements in the management and execution of the maintenance activities of the tanks.*

Keywords: *engineering techniques, storage tanks, maintenance*