

Copyright 2014, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2014, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2014.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Nova Tecnologia de Revestimentos Internos Resistentes à Erosão e Pulverizáveis para Tubulações e Equipamentos de Processo

¹Ivan Ordaz, ²Diego Gonzalo Hita, ³Pedro Ruiz, ⁴Cassia Sanada

Abstract

This paper aims to present a novel class of equipment and pipeline protective coatings that present two outstanding characteristics, erosion resistance combined with negligible wear to spray equipment. The LT (Low Temperature) and HT (High Temperature) coatings utilise a formulated blend of thermoplastic fillers rather than traditional ceramic fillers. The LT coating is recommended for ambient service conditions, and HT coating is recommended for high temperature operating conditions. These coatings have been designed to facilitate the practical coating of internal field joints in order to enable the use of the robotic technology. Due to the presence of entrained solids generic epoxy coatings at the internal weld can often suffer from rapid erosion. However, the use of erosion resistant ceramic epoxy composite coatings to protect the internal field joints may not be an option either, as these coatings cause extensive damage to spray equipment due to the hard angular nature of the ceramic filler employed. Application of such coatings by brush or roller will, therefore, restrict their use to man-entry pipelines. During comparison evaluation of erosion resistance, LT and HT thermoplastic coatings exhibit performance characteristics that are superior to traditional ceramic epoxy composite coatings, and demonstrate minimum damage to the spray equipment.

Keywords: Internal Pipe Coating, Spray Airless Applied Coating, High Thickness Coating, Coatings with Thermoplastic Fillers

Resumo

Este artigo tem como objetivo apresentar uma nova classe de revestimentos de proteção de tubulações e equipamentos, a qual apresenta duas características marcantes, resistência à erosão combinada com o desgaste não significativo do equipamento de pulverização. Os revestimentos LT (Low Temperature) e HT (High Temperature) utilizam uma mistura formulada de cargas termoplásticas, ao invés de materiais cerâmicos tradicionais. O revestimento LT é recomendado para condições de serviço à temperatura ambiente e o revestimento HT é especificado para condições operacionais a altas temperaturas. Estes revestimentos foram desenvolvidos com o objetivo de enfrentar os desafios do revestimento interno de juntas de tubulações de forma a permitir a utilização da tecnologia robótica. A presença de sólidos suspensos pode muitas vezes causar erosão rápida de revestimentos epóxi genéricos na solda interna. Entretanto, a utilização de revestimentos epóxi cerâmicos

¹-Eng Químico - Belzona Global LCC

²MSC-Eng Químico - Hita Comércio e Serviços Ltda

³-Eng Químico - Belzona Global LCC

⁴MSC-Eng Químico - Belzona Global LCC

resistentes à erosão para proteger as juntas internas não é viável também, pois estes revestimentos causam danos significativos ao equipamento de pulverização, devido à natureza angular da carga cerâmica empregada. A aplicação de tais revestimentos com pincel ou rolo, portanto, é possível somente com acesso de pessoal no interior de tubulações. Durante a avaliação de comparação da resistência à erosão, os revestimentos termoplásticos LT e HT exibem características de desempenho superior aos revestimentos epóxi cerâmicos tradicionais e demonstram mínimo dano ao equipamento de pulverização.

Palavras-chaves: Revestimento Interno de Tubos, Revestimento Aplicado por Airless, Revestimento de Alta Espessura, Revestimentos com Cargas Termoplásticas

Introdução

A erosão é, por definição, um processo no qual o material é desgastado por um processo mecânico. A proteção contra a erosão na indústria é uma batalha sem fim. Danos de vasos e tubulações causados pela erosão podem levar a falhas catastróficas sendo considerados um fator de alto risco. Os efeitos da corrosão em superfícies metálicas podem ser previstos por modelos e compensados em projetos com proteção catódica ou revestimentos de proteção. A erosão é mais difícil de prever, porque é altamente dependente da alimentação do fluxo contínuo de sólidos em suspensão, velocidade e ângulo. Este artigo terá como foco principal a proteção de vasos de processo e tubulações através do uso da nova tecnologia de revestimento. Tradicionalmente, os revestimentos epóxi têm sido desenvolvidos para proporcionar resistência à erosão através da incorporação de partículas cerâmicas rígidas, tais como óxido de alumínio, carbetos, óxidos de titânio, entre outros. A desvantagem destes revestimentos é o fato de que os componentes que os tornam resistentes à erosão também os tornam severos ao equipamento de pulverização, desgastando muito rapidamente ponteiros, selos, válvulas e todas as partes internas de manuseio de fluidos do equipamento pulverizador. Houve então a necessidade de fornecer o mesmo ou melhor sistema de proteção contra a erosão com um revestimento epóxi líquido que não fosse prejudicial para o equipamento de aplicação. Tais revestimentos foram obtidos com a pesquisa e desenvolvimento dos revestimentos LT (Low Temperature) e HT (High Temperature) que possuem uma abordagem diferente, mesmo sem cargas cerâmicas duras, ainda oferecem excelente proteção contra a erosão, resistência ao desgaste e impacto, alto grau de tenacidade e baixo coeficiente de atrito. A ausência de partículas rígidas faz com que estes revestimentos sejam convenientes para o uso em equipamento de pulverização.

Metodologia

Primeiramente, houve a necessidade de compreender os conceitos básicos de erosão, mais especificamente, erosão por arraste. Arraste ocorre quando partículas relativamente duras são arrastadas em uma corrente de fluido e entram em contato físico com as superfícies de equipamentos. Dependendo do ângulo que as partículas encontram a superfície, a erosão pode ser classificada como erosão dúctil ou frágil (2). Erosão dúctil ocorre quando o ângulo de impacto é menor que 30° e a perda de material na superfície é causada por ação de corte e aragem das partículas na superfície. Erosão frágil ocorre quando o ângulo de impacto é de 90°

com a superfície e a perda de material ocorre como resultado de lascamento e propagação de fissuras no substrato.

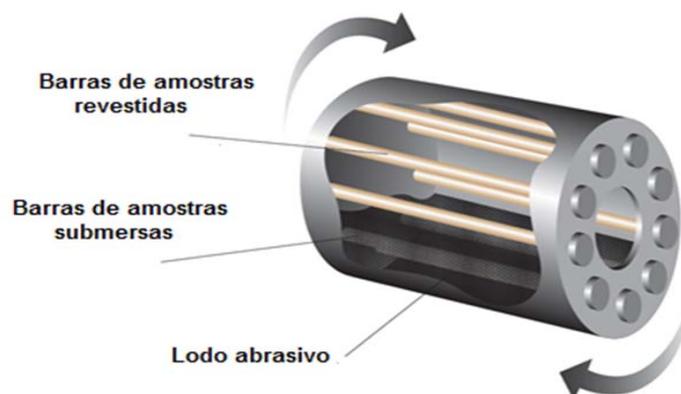
Ensaio extensivos foram realizados para a avaliação da resistência à erosão dos revestimentos LT e HT. De forma a obter uma análise completa, também foram realizados testes de pulverização para analisar também o desgaste do equipamento. Foi essencial recriar e avaliar os danos do "mundo real" considerando a variedade de condições de processo que os revestimentos podem ser submetidos. Existem numerosos métodos de ensaio para avaliar a resistência à erosão de um material mas sabe-se que nenhum teste é definitivo e os dados não são geralmente comparáveis entre os diferentes testes. No entanto, acreditamos que um programa de teste empregando um número significativo de mecanismos de abrasão permite uma boa aproximação das condições de campo e é um passo necessário para validar a qualidade do produto.

Avaliação da Resistência à Erosão dos Revestimentos LT e HT

Neste trabalho, vários métodos de teste de abrasão foram empregados: Método padrão para teste de resistência à abrasão de revestimentos de tubulações (ASTM G6), Método de abrasão úmida Taber (ASTM D4060), Método por jateamento (desenvolvido internamente por técnicos da própria empresa) e Método por impacto (conduzido pela Universidade de Leeds, Inglaterra). A avaliação do desgaste do equipamento de pulverização foi conduzido através de pulverização tanto do revestimento tradicional epóxi cerâmico e dos revestimentos em estudo neste trabalho, utilizando pulverizador airless Graco King 65:1. Danos às válvulas de esfera e gaxetas da bomba de deslocamento positivo foram avaliados após 6 horas de aplicação contínua por pulverização.

Método de Teste Padrão de Resistência à Abrasão de Revestimentos de Tubulações (ASTM G6)

Foi utilizada uma versão modificada da norma ASTM G6. O revestimento é aplicado em uma barra de aço. Um total de nove barras foram pré-pesadas e inseridas dentro de um tambor com lama abrasiva. (3,5 kg de areia de quartzo e bauxita em 6 kg de água). O tambor é continuamente rotacionado a 100 rpm durante 100 horas expondo as amostras revestidas com repetitivo desgaste abrasivo.



Abrasão Úmida

Este teste foi realizado de acordo com a norma ASTM D4060. Um disco de amostra moldado com compósito de epóxi curado é pré-pesado e colocado na bandeja da plataforma giratória do Taber AbraserTM. A bandeja é preenchida com água para simular a abrasão relacionada com o transporte de fluidos e a amostra é girada perpendicularmente contra um par de discos

abrasivos H-10 sob uma carga de 1 kg para determinar a resistência ao desgaste. À medida que a amostra é submetida à ação de desgaste pelas rodas abrasivas, um formato de arco abrasivo é desgastado na amostra resultando na formação de um rastro circular. A partir da perda de volume associada, uma medida de resistência à erosão pode ser determinada por 1000 ciclos.



Figura 1 – Abrasão Taber com rodas abrasivas

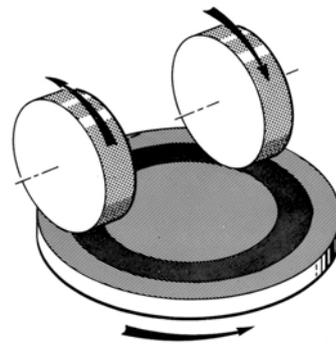


Figura 2 – A ação abrasiva de rodas rotativas no Taber Abrader

Abrasão por Jato com Granalha

Este método de ensaio foi desenvolvido internamente pelo departamento de pesquisa e desenvolvimento da própria empresa. Um disco de amostra moldado com compósito de epóxi curado é pré-pesado e colocado na cabine de teste a uma certa distância do bocal do jato. A amostra é mantida no ângulo apropriado, normalmente, 90° ou 30° com o bocal, e 2 kg de granalha abrasiva de ferro resfriado é disparado na amostra usando uma pistola de jato movido a ar 5,5 bar (80 psi). Uma medida da resistência à erosão pode ser determinada pela perda de volume associada.

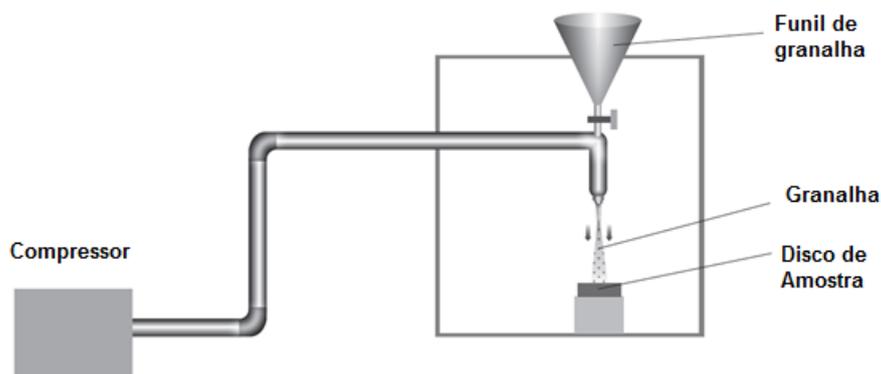


Figura 3 – A cabine de jato com granalha desenvolvido internamente pelo departamento de pesquisa e desenvolvimento

Erosão por Impacto à Jato

Este teste foi realizado pela Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Leeds. Uma amostra de disco moldado com compósito de epóxi curado é pré-pesado e então, colocado em um tanque com impacto à jato em condições de imersão. Um jato de solução de água e sal (cloreto de sódio 3,5%) contendo areia de quartzo com concentração de aproximadamente 2100-2300 mg/L é direcionada continuamente da ponta do bocal para a amostra imersa a uma taxa constante de 20 m/s. O ângulo de impacto foi ajustado a 90°. A temperatura do jato de fluido também pode ser variada, o revestimento LT foi testado a 20°C e o revestimento HT foi testado a 70°C (temperatura máxima do aparelho de teste da Universidade de Leeds. O teste é realizado ao longo de um período de 50 horas. A medida da resistência à erosão pode ser determinada a partir da perda de volume associada.

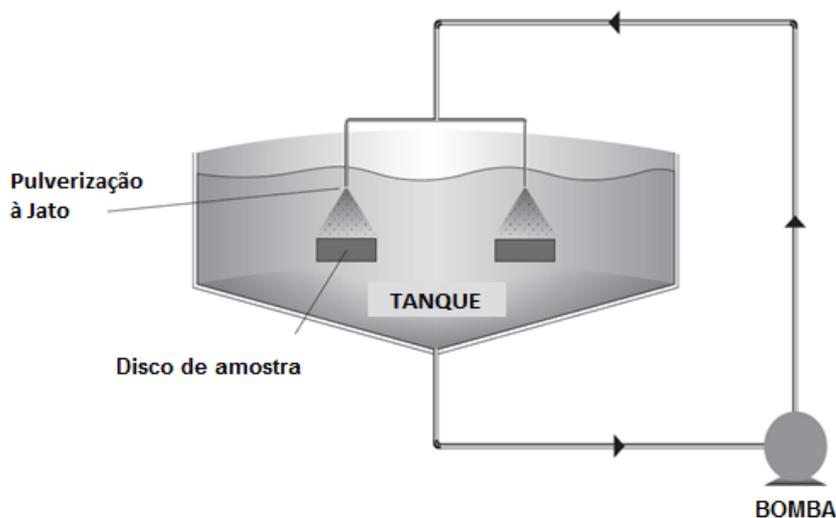


Figura 4 – Erosão por Impacto à Jato

Avaliação do desgaste do equipamento

Uma limitação notável para o uso de revestimentos de compósitos epóxi cerâmicos é o dano que estes causam no equipamento de pulverização. O carboneto de silício é amplamente utilizado na indústria como um grão abrasivo em processos de usinagem, tais como esmerilhamento, polimento, corte por jato de água e areia. A natureza angular e dura das partículas de carga cerâmica, portanto, causam danos às válvulas de esfera do pistão, selos e pontas dos bocais. Na prática, os revestimentos epóxi cerâmicos são recomendados para aplicação com pincel. Os autores estão conscientes que vários revestimentos epóxi cerâmicos chamados 'pulverizáveis' no mercado têm viscosidade que permite a pulverização mas, quando avaliados verificou-se que causam grandes desgastes ao equipamento de pulverização. O desenvolvimento de um revestimento 'compatível com pulverização' (aquele que não desgasta ou danifica o equipamento de pulverização) especificado para ambientes altamente abrasivos pode oferecer importantes benefícios para o usuário final. O tempo de vida de peças, como pontas de bocal, esferas das válvulas do pistão e selos é bastante prolongado. O tempo necessário para completar uma aplicação é reduzido devido ao menor tempo de inatividade gasto em manutenção, como desmontar o pistão para substituir os selos gastos que pode ser uma tarefa frequente ao aplicar revestimentos de compósitos epóxi cerâmicos

1.000 litros, isto é, equivalente a uma área de cobertura de cerca de 4000 m², muito superior à maioria dos trabalhos encontrados no campo.

Depois das seis horas de teste, um ensaio padrão ‘stall test’ foi utilizado para verificar a integridade das vedações da bomba. Trata-se de soltar o gatilho da pistola para parar o fluxo do produto, se o pistão está em boas condições de funcionamento, deve parar imediatamente durante o ‘mid-stroke’. Se o curso do pistão continuar após soltar o gatilho, isso indica que as vedações do pistão e válvulas de esfera têm desgastado e precisa ser substituído.

Resultados e discussão

Avaliação da Resistência à Erosão dos Revestimentos LT e HT

Os testes de abrasão descritos na seção anterior foram utilizados para comparar a resistência à erosão dos revestimentos LT (Low Temperature) e HT (High Temperature) contra uma série de revestimentos de compósitos epóxi alternativos. A Tabela 1 apresenta os revestimentos incluídos no programa de teste. A Tabela 2 apresenta os resultados de cada ensaio. O volume de revestimento perdido pela ação abrasiva do teste corresponde a uma medida do grau de erosão.

Tabela 1 – Revestimentos epóxi avaliados neste trabalho

Referência	Descrição dos Revestimentos Epóxi
Revestimento LT	Revestimento resistente à erosão pulverizável com cargas termoplásticas.
Revestimento HT	Revestimento resistente à erosão pulverizável para altas temperaturas com cargas termoplásticas.
Revestimento Cerâmico	Epóxi Revestimento tradicional resistente à erosão aplicado com pincel com cargas de carbeto de silício.
Revestimento Genérico	Epóxi Revestimento de tubulação genérico para resistência à erosão com cargas de areia de quartzo

Tabela 2 – Perda de volume (cm³) devido à erosão dos revestimentos epóxi sujeitos aos testes de abrasão

	Abrasão Taber (ASTM D4060)	Método por jateamento (desenvolvido internamente)	Abrasão tambor de lodo (ASTM G6)
Revestimento LT	0,0965	0,0105	0,1171
Revestimento HT	0,0965	0,0135	0,1164
Revestimento Cerâmico	Epóxi 0,1274	0,0269	0,1417
Revestimento Genérico	Epóxi 1,0465	0,061	0,2466

A Figura 5 ilustra a resistência ao desgaste de cada um dos revestimentos epóxi testados para ambos abrasão deslizante Taber deslizante (ASTM D4060) e abrasão por impacto (desenvolvido internamente). Os resultados demonstram o desempenho superior dos revestimentos LT e HT, os quais ocupam o canto inferior esquerdo do gráfico na área correspondente à baixa erosão tanto para deslizamento e abrasão por impacto.

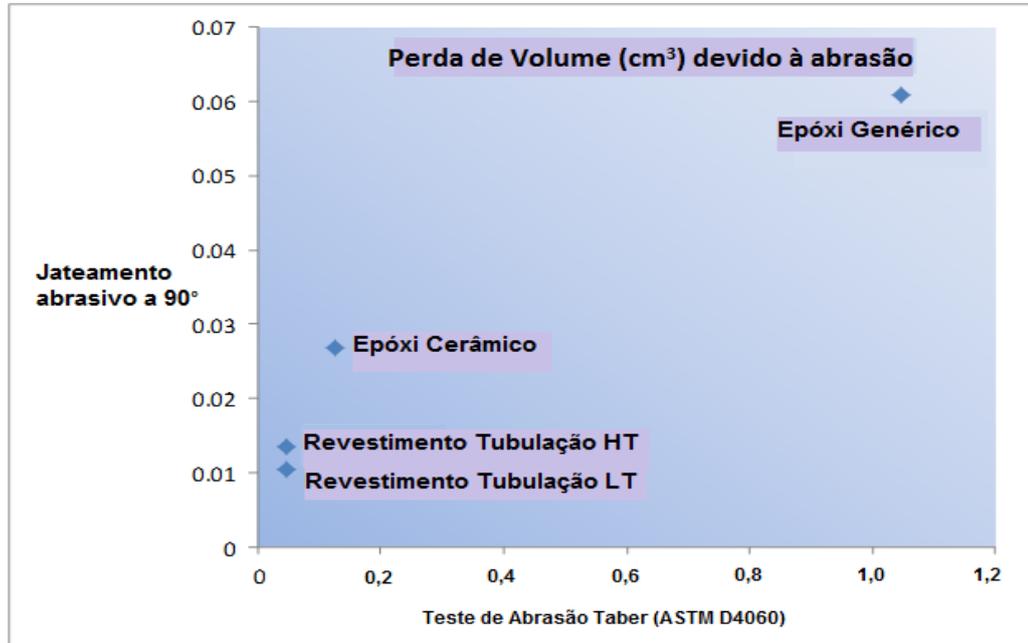


Figura 5 – Perda de volume por erosão (cm³) dos revestimentos submetidos à abrasão por deslizamento e impacto

Como um resultado do jateamento com granalha, as amostras de compósitos epóxi podem sofrer principalmente mecanismos de erosão frágil. Materiais de carga cerâmica ou de quartzo tradicionais são duros e quebradiços, com baixa resistência à fratura. A teoria prevê perda de volume, devido à propagação de fissuras radial resultando em deslocamento de material do revestimento. Nossas observações suportam a teoria de que o volume de produto perdido de LT e HT (que utilizam uma mistura de cargas termoplásticas duras e dúcteis) é menor que a metade da amostra de epóxi com carga cerâmica. Como esperado, o epóxi genérico preenchido com carga de quartzo apresenta baixo desempenho.

O revestimento do compósito epóxi cerâmico tradicional funciona bem contra à abrasão por deslizamento medida no Taber Abraser. No entanto, tem-se como resultado significativo, o desempenho superior de LT e HT neste ensaio, apresentando perda de volume 25% menor do que o revestimento compósito cerâmico. A natureza auto-lubrificante de LT e HT pode explicar este resultado.

A Figura 6 ilustra a resistência à erosão de cada revestimento de acordo com ASTM G6 - 'Método de teste padrão para a resistência à abrasão do revestimento de tubulações'. O teste simula o ambiente experimentado em interior de tubos expostos a suspensões altamente abrasivas onde partículas em suspensão deslizam e formam cascatas contra as barras de amostras revestidas. Mais uma vez, os resultados demonstram o desempenho superior dos revestimentos LT e HT.

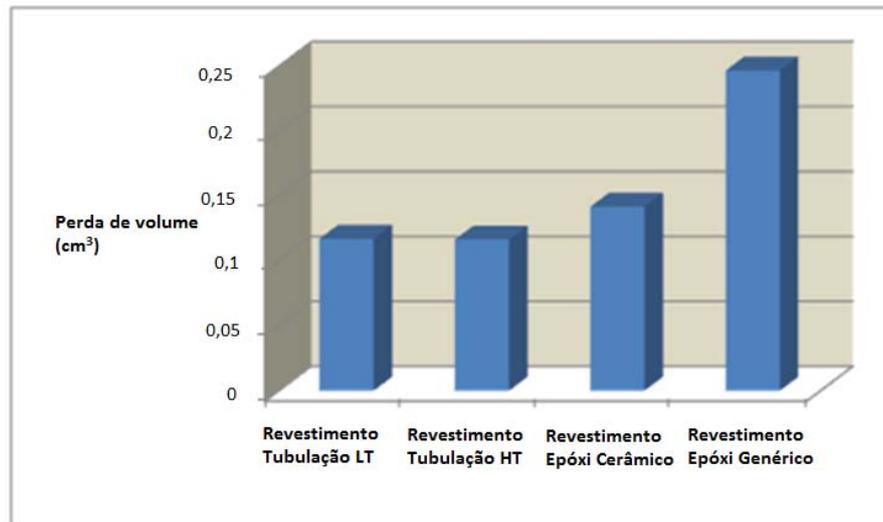


Figura 6 – Perda de volume à erosão (cm³) de revestimentos submetidos ao teste no tambor de lodo (ASTM G6 modificado)

Nossa observação confirma a resistência dos revestimentos LT e HT a lodos abrasivos. O revestimento de compósito cerâmico tradicional apresentou erosão 20% maior sob essas condições agressivas. Como esperado, o material de epóxi genérico com carga de areia de quartzo apresenta baixo desempenho.

A Figura 7 ilustra a resistência à erosão de LT em comparação com um revestimento compósito cerâmico tradicional submetido ao jato de impacto (impingimento) a 20 °C. Este teste foi realizado de forma independente pela Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Leeds. O jato de alta velocidade na amostra com um ângulo de 90° é análogo ao choque experimentado pelo cotovelos, saliências e arestas de tubulações normalmente encontrados em geometrias de dutos no campo. O desempenho de LT foi impressionante pois o volume perdido com a erosão foi quase quatro vezes menor do que o revestimento compósito cerâmico.

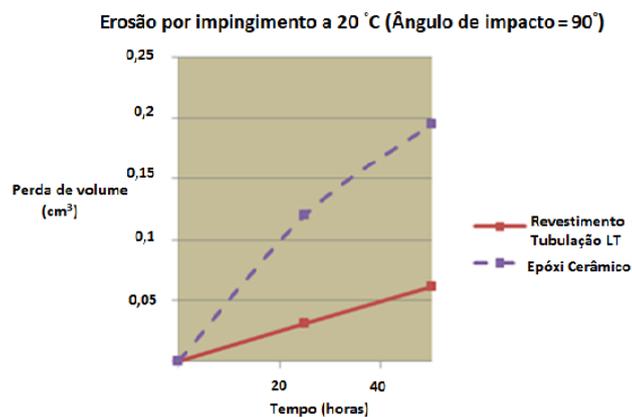


Figura 7 – Perda de volume por erosão (cm³) de revestimentos sujeitos ao impingimento a 20°C

O revestimento HT também foi testado por jato de impacto (impingimento) a 70 °C, que foi a capacidade máxima de temperatura do aparelho de teste da Universidade de Leeds. O revestimento HT é recomendado para condições de imersão contínua a altas temperaturas 90 °C, sendo portanto, adequado para testar a resistência à erosão comparando a um revestimento compósito de epóxi resistente ao calor. O revestimento resistente ao calor utilizado no presente ensaio não contém material de carga cerâmica. A Figura 8 ilustra o desempenho superior do revestimento HT, o volume perdido com a erosão foi cinco vezes menor do que o revestimento resistente ao calor.

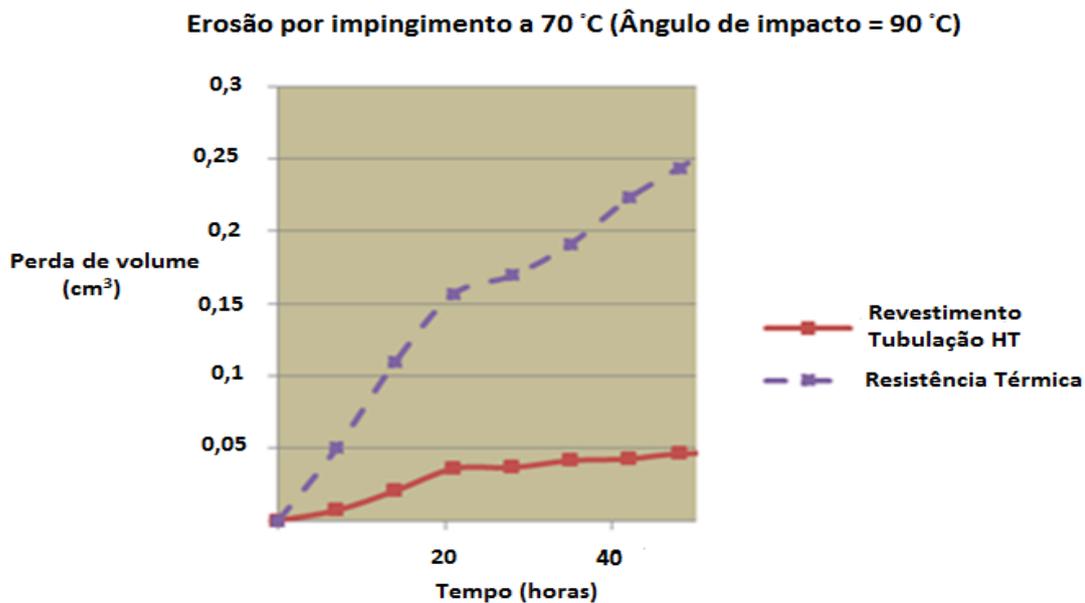


Figura 8 – Perda de volume por erosão (cm³) de revestimentos sujeitos ao jato a 70°C

Avaliação do desgaste do equipamento:

Uma medida inicial da abrasividade dos diversos tipos de revestimentos com peças metálicas foi realizada no ‘Multi-Media Abraser 5500’. O volume de perda dos pinos de bronze com o desgaste abrasivo estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Dados de abrasidade dos revestimentos obtidos no Multi-Media Abraser 5500

Revestimentos	Volume (cm ³)
Revestimento LT	0,0007
Revestimento HT	0,0007
Revestimento Epóxi Cerâmico	0,3500
Revestimento Epóxi Genérico	0,0188

A Figura 10 ilustra a diferença da abrasividade dos revestimentos de grau fluido, conforme medido pelo grau do volume perdido dos pinos de bronze devido à erosão. A perda de volume

dos revestimentos LT e HT é insignificante, o que é coerente com o fato de que a mistura de materiais de carga termoplástica em LT e HT tem um baixo coeficiente de atrito e, conseqüentemente, é auto-lubrificante. Nota-se que a Figura 10 está em uma escala \log_{10} para que o revestimento epóxi cerâmico é, na verdade várias centenas de vezes mais abrasivo do que os revestimentos LT e HT, o que não é surpreendente, dada a natureza altamente abrasiva do material de carga cerâmica, carboneto de silício.

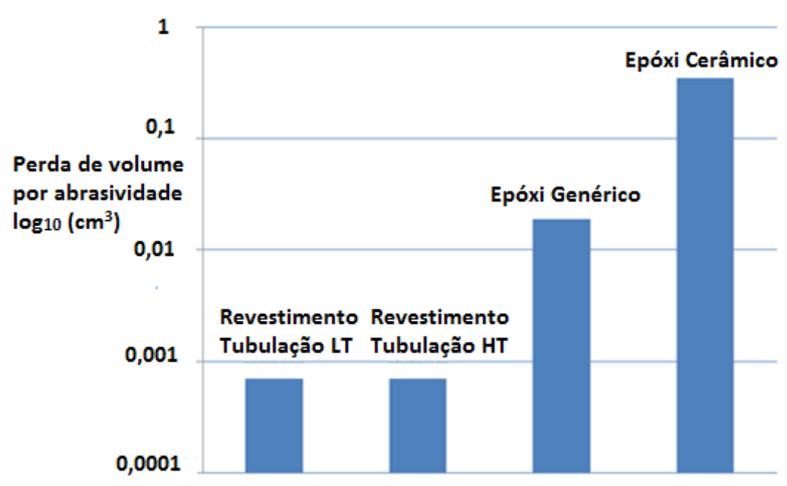


Figura 10 – Gráfico em escala logarítmica de abrasividade dos revestimentos medido no ‘Multi-Media Abraser 5500’

Os bicos do pulverizador são componentes altamente precisos que podem desgastar ao longo do tempo sob condições normais de operação. Remoção gradual de metal causa o aumento do orifício do bico e passagem interna do fluxo. Como resultado, o fluxo geralmente aumenta e o ângulo do leque é reduzido resultando em uma largura da faixa mais estreita.

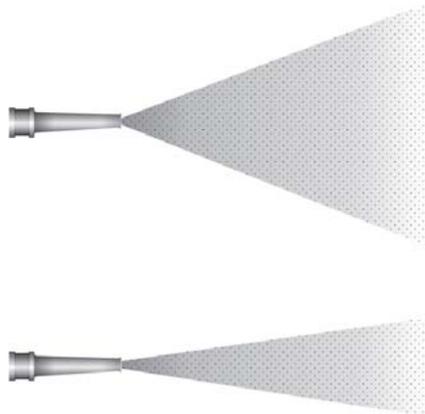


Figura 11 - Deterioração do padrão do leque é um sinal de erosão na ponta do bico. O ângulo do leque é reduzido resultando em uma largura da faixa mais estreita

As pontas dos bicos são considerados itens de consumo que precisam ser substituídos regularmente a um custo relativamente pequeno. A consequência econômica mais importante de deterioração do jato é a cobertura reduzida por passagem de aplicação resultando em maior tempo para concluir um trabalho e aplicação excessiva do produto sobre uma determinada área.

Neste trabalho, uma ponteira Graco XHD523 com um orifício de 23 mil foi utilizada para aplicar ambos, revestimento LT e o revestimento de compósito epóxi cerâmico 'pulverizável'. Na aplicação do revestimento epóxi cerâmico, o ângulo padrão do leque reduziu para a metade dentro de 10 minutos de pulverização contínua. Não houve uma maior deterioração do padrão do leque indicando que completa erosão da ponta do bico tinha ocorrido. Quando o revestimento LT foi aplicado em condições idênticas, o jato permaneceu consistente. Após 45 minutos de teste, o fim do teste foi antecipado pois o tempo necessário para erosão da ponta do bico tornou-se evidente que seria excessivamente longo. O teste foi interrompido, portanto, com a conclusão de que a erosão pelo revestimento LT na ponta do bico é insignificante.

O revestimento foi então mantido em circulação através da bomba de deslocamento positivo, durante 6 horas. Após três horas de teste, o revestimento compósito cerâmico apresentou vazamento no êmbolo significando falha catastrófica, o ensaio foi, no entanto, continuado durante toda a duração de 6 horas. Sem problemas foram observados com o revestimento LT durante o procedimento de 6 horas.

O revestimento LT passou no 'stall test' realizado no final das 6 horas, o revestimento cerâmico, sem surpresa, falhou neste ensaio. O êmbolo foi, em seguida, desmontado e foram recuperadas as vedações e as válvulas de esfera, limpo, pesado e analisado quanto a sinais visuais de desgaste.

Os selos são geralmente de nylon, couro ou Tuff-StackTM O-rings (compósito PTFE com carga de carbono). Neste trabalho foram utilizados Tuff-StackTM O-rings e não foi apresentada erosão independentemente do revestimento fluido em teste. A inspeção visual das válvulas de esfera no entanto exibiram uma diferença marcante entre o revestimento LT e o revestimento epóxi cerâmico. As válvulas de esfera expostos ao revestimento LT ainda estavam brilhantes e quase como novas, salvando algumas marcas isoladas. As válvulas de esfera expostos ao revestimento epóxi cerâmico estavam foscas e evidentemente bem desgastadas, ver Figura 12. Quando pesadas, o revestimento cerâmico apresentou 100 vezes maior erosão das válvulas de esfera do que o revestimento LT.

A Figura 12 é uma prova fotográfica do mínimo desgaste das válvulas de esfera com o revestimento LT. As válvulas de esfera e os selos são quase indistinguíveis de sua condição original. O teste demonstra claramente que grandes volumes de revestimento LT podem ser aplicados, sem danificar o equipamento de pulverização.



Figura 12 – Os selos e as válvulas de esfera recuperadas no êmbolo apresentam uma grande diferença na extensão de desgaste. Revestimento LT (lado esquerdo) e revestimento cerâmico (lado direito)

Conclusões

Os revestimentos LT e HT representam uma nova geração de revestimentos resistentes à erosão, os quais utilizam uma mistura de material de carga termoplástica formulada em substituição ao material cerâmico tradicional. Esta tecnologia alternativa exibe características de resistência à erosão superior aos revestimentos tradicionais epóxi cerâmicos. Ao contrário de alguns revestimentos epóxi cerâmicos que afirmam ser pulverizáveis, os revestimentos LT e HT não causam danos ou desgaste do equipamento de pulverização. Estes revestimentos podem, portanto, ser especificados para pequenos diâmetros de tubulação onde a aplicação com pincel ou rolo não é viável. Os revestimentos LT e HT foram desenvolvidos para enfrentar os desafios comumente encontrados na montagem de tubulações e devido à alta resistência ao escorrimo com aplicação a uma alta espessura de filme, são particularmente adequados para o revestimento sobre soldas circunferenciais em juntas externas e internas.

Referências bibliográficas

- (1) ASTM International (2010), ASTM G40 Standard terminology relating to wear and erosion
- (2) Tilly G.P, (1973). A two stage mechanism of ductile erosion. *Wear*, Vol 23 1973, p 87–96.
- (3) Weiss K.D, Lindsay N.E, Wade B.H, White P.M, Orr A.S. (1997) New tests for determining adhesive abrasivity. *Adhesives, Sealants and Industry*, Vol 4 Issue 1 1997, p30.