Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo, v. 22, n. 2, 67-77, 2003. © 2003

APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO ANTICORROSIVO EM VASOS DE PRESSÃO EM SISTEMAS DE VÁCUO NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO AÇÚCAR E ÁLCOOL

W.L. Polonio*
UNESP, 17.033-360,Bauru, SP e
Grupo Cosan – Usina da Barra, 17.340-000, Barra Bonita, SP

Palavras chave: condensadores, vácuo, vasos de pressão, revestimento.

RESUMO

Este estudo objetivou avaliar os comportamentos técnicos, econômicos e descrever o desenvolvimento da aplicação de revestimento anticorrosivo em substrato metálico e construção de internos em plásticos de engenharia, para vasos de pressão submetidos a vácuo. Os revestimentos em P.R.F.V. (Plástico reforçado com fibra de vidro), foram aplicados na parte interna de condensadores de contato direto submetidos a vácuo, também chamados de condensadores barométricos, os quais se encontram em todo o percurso do processo de fabricação de açúcar, desde sua etapa iniciais, intermediárias e finais, representadas respectivamente pelas operações unitárias de filtração contínua de lodo de caldo de cana, evaporação de caldo e cozimento de açúcar, todos sujeitos a ação do vácuo. A necessidade deste desenvolvimento surgiu em 1988, quando se buscou aumentar a vida útil de vasos de pressão em processos de filtração. Vencida as barreiras técnicas e econômicas da aplicação, em 1998, buscaram-se melhorias na viabilidade econômica, não somente com o ganho da sobre espessura de corrosão, mas com melhorias construtivas dos equipamentos. As conclusões deste estudo são de interesse geral das indústrias de processo que possuem aplicação de equipamentos submetidos a vácuo, em condições adversas de ataque corrosivo, juntamente com ação de temperatura e abrasão, e solicitações mecânicas de arrancamento do revestimento sob ação do vácuo, disponibilizando aos usuários nova alternativa de proteção, com inúmeras vantagens econômicas.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the technical and economical behavior as well as to describe the development of the application of anticorrosive coating in a metal substract and the construction of plastic internals for engineering, for pressure vessels submitted to vacuum. The coating in Reinforced Fiberglass Plastic (R.F.G.P) was applied in the internal part of the direct-contact condensers submitted to vacuum, also called barometric condensers, covering the entire manufacturing process of sugar, from the initial, intermediate and final stages, respectively represented by the unitary operations in continuous filtering of sugarcane sludge, evaporation of the juice and boiling of the sugar, all subject to the action of vacuum. The need for this development started in 1988 when it was tried to increase the lifespan of pressure vessels in the filtration process. Once overcoming the technical and economical hindrances of the application, in 1988, improvement in economical feasibility was searched, not only concerning the reduction of the corrosion over thickness, but also with building improvement of the equipment. The conclusions of this study are of general interest for processing industries that have an application of vacuum equipment under adverse conditions of corrosive attack, together with the action of temperature and abrasion, and the mechanical demands of the peeling-off of the coating under the action of vacuum, making new alternatives of protection available for the users, with economical advantages.

1. INTRODUÇÃO

A maioria das empresas do setor sucroalcooleiro possui equipamentos para produção de açúcar, como cozedores e evaporadores, construídos nas décadas de 70 e 80, e nestas décadas a totalidade dos equipamentos foi concebida em aço carbono estrutural, expondo diretamente o produto final (açúcar branco), em contato com óxidos de ferro (ferrugem) [1]. Também nestas décadas as exigências de qualidade final do produto eram baixas, pois o setor não era classificado como um produtor de alimentos, e sim como um manufaturador de matéria prima a qual boa parte era então reprocessada em refinarias, garantindo a qualidade do produto final.Atualmente a classificação das usinas produtoras de açúcar branco está sendo alterada para empresas produtoras de alimentos, e a qualidade do produto final vem sendo mais exigida. Um indicador internacional da qualidade do açúcar produzido se refere à cor do açúcar determinada na escala ICUMSA [2], e nacionalmente avaliação de "pontos pretos" segundo a Norma ABNT [3], ou determinação de resíduo insolúvel do açúcar ABNT [4] também classifica esta qualidade. Estes pontos pretos que podem ser resíduos solúveis ou insolúveis, em sua maior parte são partículas metálicas provenientes dos próprios corpos dos equipamentos, (mais especificamente vasos de pressão) empregados na produção de açúcar.

* walter.polonio@cosan.com.br

O principal objetivo da aplicação do revestimento anticorrosivo é de proteger o substrato metálico (aço carbono), às ações de corrosão dos equipamentos de processo alcançando uma qualidade superior do produto, classificado agora como alimento, e garantir um ganho de vida útil com viabilidade econômica da aplicação.
O desafio técnico desta aplicação foi conseguir uma boa aderência entre as partes metálicas e revestimento em plástico reforçado. Um fato bem conhecido no setor sucroalcooleiro, é que inúmeras tentativas de revestimentos metálicos em vasos de pressão são relatadas, na sua totalidade, com aplicação de chapas de aço inoxidável, mas ainda sem que se tenha conseguido sucesso satisfatório.

2. PARTE EXPERIMENTAL

O experimento foi realizado na Usina da Barra. A parte experimental foi dividida em duas fases, a primeira objetivou o desenvolvimento da aplicação do revestimento, com inicio na safra de 1988 em equipamentos de pequeno porte, (diâmetro 0,9 m, altura 2,2 m), existentes no setor de filtração contínua de lodo de caldo de cana utilizada na separação de líquidos e vapores, submetidos a vácuo de 100 Torr, até pressão atmosférica. Alem dos efeitos da ação do vácuo no descolamento da interface entre o revestimento e substrato metálico, outros efeitos como elevação de temperatura de 54 a 100 ^{o}C, efeito mecânico de abrasão pelo manuseio de fluídos contendo sólidos em suspensão, velocidades tangenciais na superfície do revestimento de até 25 m/s e mudanças bruscas de temperatura com resfriamentos e aquecimento ou a existência de zonas com diferentes gradientes de temperatura foram exaustivamente experimentados. Com o desenvolvimento técnico alcançado, em 1998, fez-se a aplicação em equipamentos de médio porte, (2,53 m diâmetro por 5,77 m altura), empregados na condensação de vapor dos evaporadores e cozedores de açúcar submetidos a vácuo.

2.1. Condições de operação do equipamento

Vaso de pressão submetido a vácuo absoluto, constituído conforme norma ASME Seção VIII [5]
- Pressão de projeto (Vácuo): 30" Hg (Vácuo absoluto)
- Material do substrato metálico a ser revestido: chapa de aço carbono, ASTM-SA-283 Grau-C
- Fluidos circulantes: Água de Refrigeração e vapor de água saturado, Vazão total de água do condensador: 1.100 m^3/h (fluxo descendente), Vazão de Vapor: 35.000 Kg/h (fluxo ascendente), Temperatura de trabalho e máxima: Normal 70 ^{o}C, Máxima de 85 ^{o}C (picos), Regime de trabalho: 24 horas/dia.

Observação Importante: O revestimento empregado deverá ser atóxico, (grau alimentício), por ser o equipamento destinado à produção de alimentos.

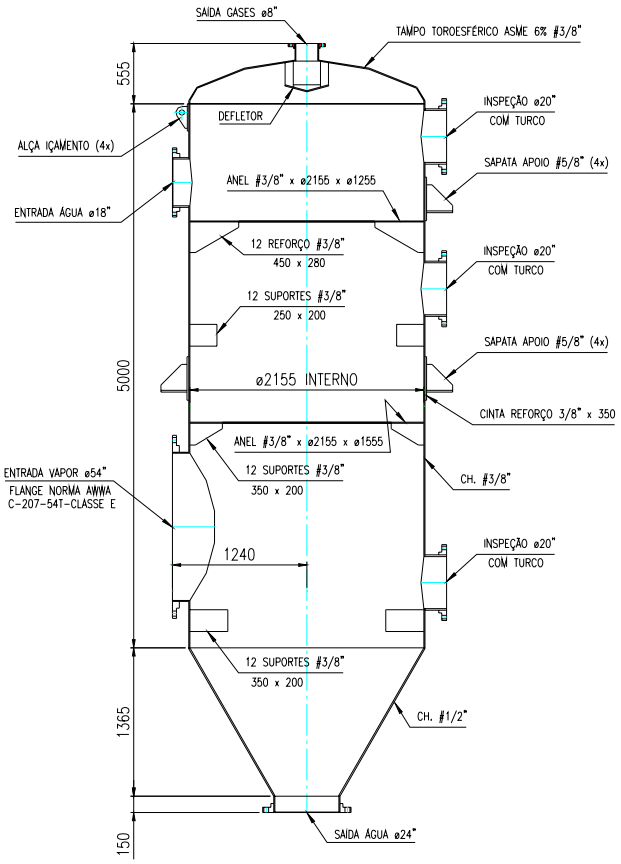


Figura 1 – Desenho dimensional básico do corpo metálico do condensador barométrico.

2.2. Descrição do equipamento a ser revestido internamente

Vaso de pressão de construção soldada em aço carbono ASTM A 283 Grau C, com corpo cilíndrico de diâmetro interno 2155 mm (ver Figura 1) mm, altura cilíndrica 5000 mm, altura total 7070 mm, com tampos superior toroesférico construção conforme norma ASME 6 % e tampo inferior do tipo tronco cônicos. As conexões que atendem o vaso deverão ser todas flangeadas do tipo sobreposto ou de encaixe, construídas segundo norma ANSI B 16.5 classe de pressão 150 psi (Libras por polegada quadrada), sendo quantificadas a seguir:

- 1 pç. saída de ar (vácuo), pelo topo, diâmetro 8".
- 1 pç. saída de água, pelo fundo, diâmetro 24".
- 3 pç. Bocas de visita, laterais e teto, diâmetro 20".
- 1 pç. entrada de água, lateral na parte superior, diâm. 18".
- 1 pç. entrada de vapor, lateral na parte inferior, diâm. 54".

Área unitária aproximada a ser revestida 59,6 m^2
O vaso deverá ter revestido internamente seu substrato metálico em PRFV (Plástico Reforçado com Fibra de Vidro), pelo processo de modelagem por contato, portanto para facilidade de acesso, faz-se necessário a sua construção em pelo menos duas partes como mostram as figuras 2 e 3.

Figura 2 - Foto da parte superior do condensador

Figura 3 - Foto da parte inferior do condensador

2.3. Primeira Etapa - Especificação técnica do revestimento no substrato metálico

2.3.1. Preparação da Superfície

Jateamento abrasivo

a) Toda a superfície interna a ser revestida, deve ser limpa, isenta de óleo, graxa, sujeira, poeira ou qualquer matéria estranha e contaminante da superfície, deixando o substrato metálico isento de quaisquer contaminações.

Detalhes internos do condensador como cantos, chapas de suporte, clips, conexões flangeadas e soldas deverão possuir acabamento superficial de forma a facilitar a distensão das fibras do laminado como segue recomendações nas figuras 2 e 3.

b) Jateamento do substrato de aço com areia, ao metal branco padrão S.A.3. O abrasivo a ser utilizado deverá ser areia seca.

Observação: Quando do jateamento abrasivo nas proximidades de todas as partes usinadas tais como vedações de conexões, todas as precauções para protegê-las devem ser tomadas, assim como a área externa do equipamento que já se encontra com pintura de acabamento.

c) Após o jateamento abrasivo, as superfícies devem ser limpas por um dos sistemas, sendo: sopro de ar comprimido, vácuo ou escovas de crina ou fibra com cerdas duras, devidamente limpas eliminando todo pó resídual. É vedado o uso de estopas ou panos secos ou embebidos em água ou solventes.

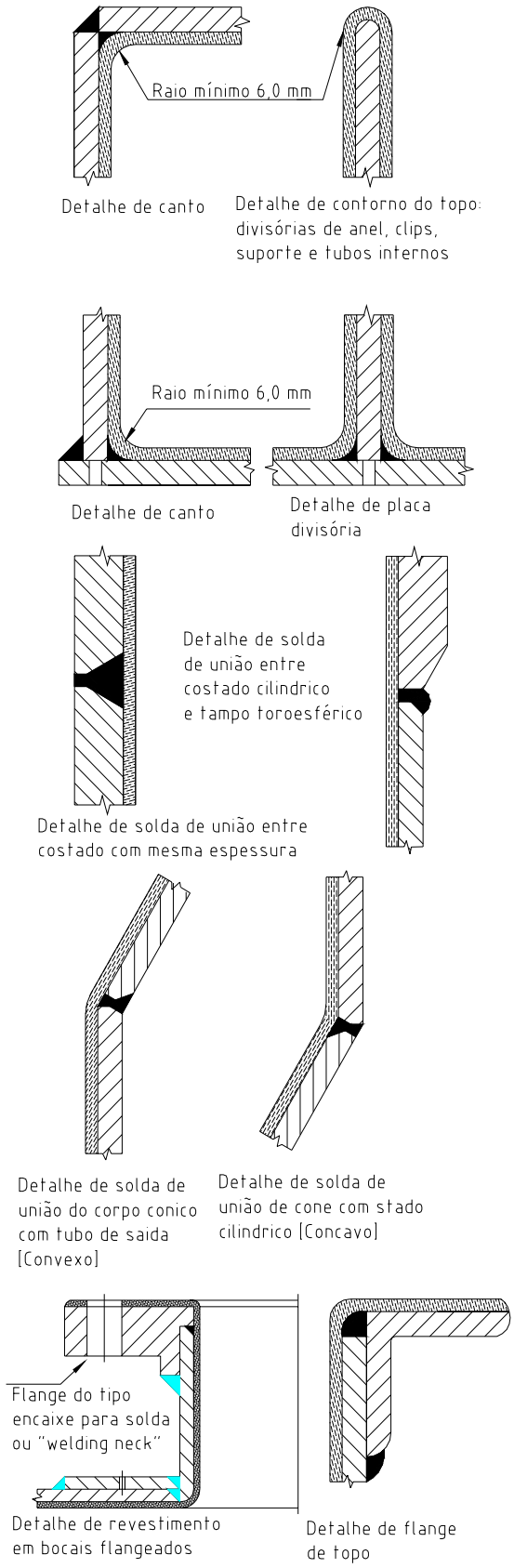
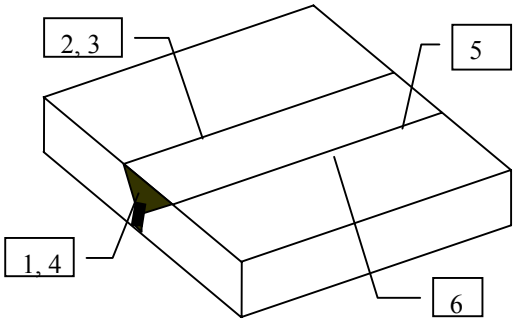


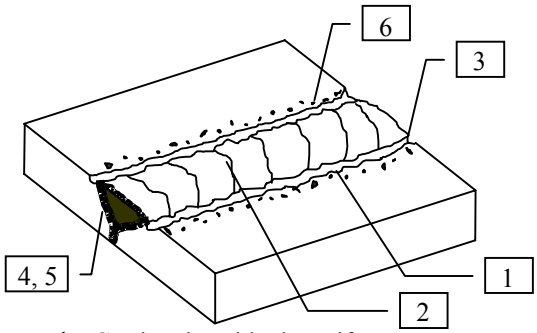
Figura 4 – Detalhes das recomendações das emendas soldadas do corpo metálico do condensador.

d) Aplicação de duas demãos de primer composto de resina éster vinílica pura; catalização com peróxido Metil Etil Cetona (MEKP) e promotor Naftenato de Cobalto (Co-Naf); ao susbtrato metálico previamente jateado, limpo e seco, com período máximo de 4 horas após o término da execução do item anterior (Jateamento Preparação da Superfície). Obedecer ao intervalo de no mínimo 6 horas e máximo de 18 horas para a aplicação da segunda demão, permitindo a cura da aplicação. Deverá ser aplicado através de rolos e trinchas, tomando-se cuidado especial na aplicação nos cordões de solda.

Observação: Não deve ser feita nenhuma etapa da aplicação do primer em qualquer das seguintes condições: Umidade igual ou superior a 85 %, tempo de chuva, nevoeiro ou bruma, temperatura ambiente inferior a 5 ^{o}C, temperatura da superfície a pintar 3 ^{o}C abaixo da temperatura ambiente e temperatura da superfície a pintar abaixo de 2 ^{o}C ou acima de 52 ^{o}C.



1 Solda cheia, sólida e continua
2 Esmerilhado liso (rugoso)
3 Soldas sem mordeduras
4 Sem depósitos de escórias
5 Sem cantos angulosos
6 Sem rebarbas de solda



1 Cordão de solda desuniforme
2 Superficies com cavidades
3 Mordeduras entre solda e chapa
4 Escórias e respingos de solda
5 Cantos angulosos nas junções
6 Salpicos de solda

Figura 5 – Acabamento superficial das emendas superficiais soldadas.

2.3.2. Etapas para aplicação do Revestimento

Camada base

e) Aplicação de camada base, composta de resina éster vinílica, e cargas minerais inertes devidamente balanceadas com a finalidade de aproximar os coeficientes de dilatação térmica entre o substrato e revestimento (é desejável que também possua flocos de fibra de vidro, para melhor aproximação dos coeficientes de dilatação), além de suavizar imperfeições superficiais como soldas ou arredondando cantos ou protuberâncias suavizando os ângulos de assentamento das fibras de vidro.

Aplicação manual através de desempenadeira de aço e espátulas, com espessura mínima de 1,0 mm.

Reforço de Fibra de Vidro (Camada estrutural)

f) Antes mesmo da polimerização total da camada base, deverá ser laminada manualmente a camada estrutural com 1 tecido de fibra de vidro de 600 g/m^2 e 1 manta de 450 g/m^2 impregnadas com resina éster vinílica. A aplicação deverá ser feita com rolos especiais e trinchas, com espessura média de 1,7 mm.

Barreira Química (Liner)

g) Laminação de uma barreira química composta de dois véus sintéticos 100% sem ligante com 35 g/m^2, do tipo NEXUS, impregnado com resina através de rolos e trinchas, com espessura média de 0,7 mm.

Acabamento

h) Sobre o Liner deverá ser aplicado um banho de resina pura e outro banho de pintura protetora com resina parafinada e pigmentada na cor branca, com finalidade de prover barreira contra penetração de oxigênio até a barreira química e ou detecção de falhas do revestimento quando em operação.

Espessura média final do revestimento deverá ser no mínimo de 3,5 mm.

Resina empregada: Éster vinílica.

Catalização da resina (Cura), deverá ser feita com iniciador Peróxido Metil Etil Cetona (MEKP) e promotor Naftenato de Cobalto (CoNaf).

A figura 6 ilustra as etapas de aplicação do revestimento em substrato metálico.

2.4. Segunda etapa – Construção dos internos, integralmente em Plástico reforçado com Fibra de vidro.

Composição do laminado e processo de fabricação.

A formação das peças planas (bandejas e aletas), cilíndricas (tubos) e seções cônicas (tipo chapéu chinês), deverá ser executado utilizando-se processo Manual (Hand Lay up), com auxílio de moldes metálicos, de madeira ou outro material que permita realizá-lo com garantia das dimensões exigidas no projeto e ótimo acabamento superficial (acabamento liso, livre de enrugamentos e porosidades).

A figura 7 apresenta as etapas de laminação para formação das partes internas do condensador.

Fases de aplicação do revestimento

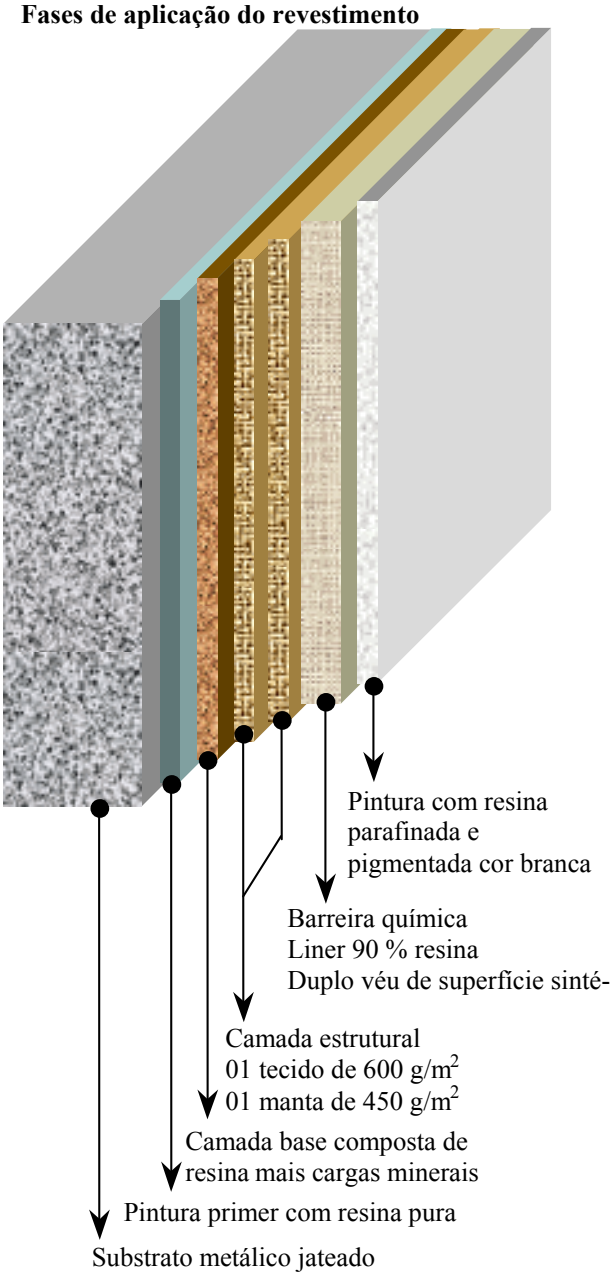


Figura 6 – Composição do revestimento no substrato metálico.

Reforço de Fibra de Vidro (Camada estrutural)

a) Laminação de camada estrutural sobrepondo tecidos de fibra de vidro de 600 g/m^2 e mantas de 450 g/m^2 impregnadas com resina éster vinílica até se obter espessura final desejada para cada peça.
b) Laminação de uma barreira química com dois véus sintéticos 100% sem ligante com 35 g/m^2, de véu sintético NEXUS, impregnado com resina éster vinílica para ambas as faces expostas ao fluxo de água e vapores interna ao condensador.
c) Banho de resina pura éster vinílica.
d) Pintura protetora com resina éster vinílica, parafinada e pigmentada na cor branca, com finalidade de prover barreira contra penetração de oxigênio até a barreira química.

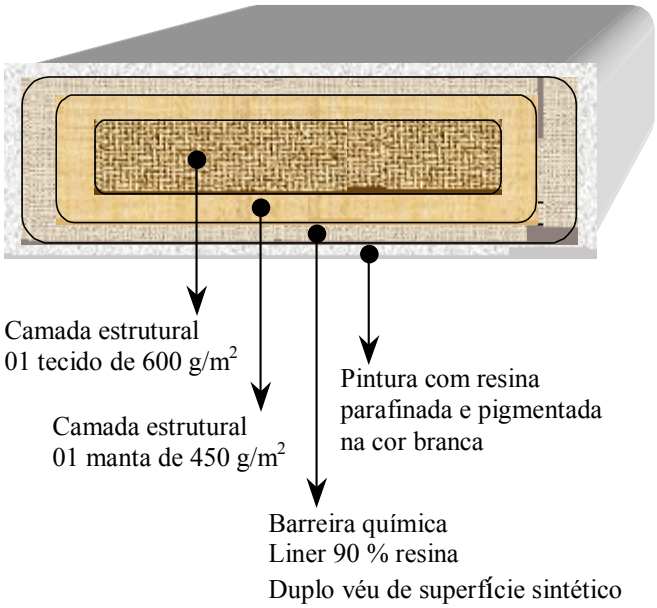
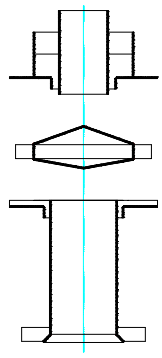


Figura 7 – Detalhe da laminação das partes internas do condensador em PRFV.



Construção das partes interna do condensador, com vertedoros e direcionador de fluxo integralmente em plástico reforçado com fibra de vidro

Figura 8 – Detalhe das partes internas do condensador em PRFV, e sua montagem final no corpo metálico.

e) Espessura final do revestimento deverá ser no mínimo de 15 mm para as peças cônicas e de no mínimo 20 mm para as bandejas planas.

2.4.1. Observações Gerais, aplicados para o revestimento e peças em PRFV

a) Mesmo tendo o vaso corpo cilíndrico, tampo toroesférico e fundo cônico, isto não isenta a existência de pontos críticos para aplicação do revestimento, que são os cantos côncavos e cantos convexos ou "cantos vivos" dos bocais de conexões flangeados, clips de fixação, “Blafs”

(quebra ondas), bocas de visita, etc.. Para estes pontos foi necessário efetuar primeiramente a aplicação de massa especial a base de resina (MASTIC) a fim de arredondar os cantos côncavos ou vivos, criando uma boa condição para distensão das fibras de vidro, e especificamente no caso de bocais flangeados e bocas de visita, foram revestidas até a parte externa dos tanques.

Figura 9 - Foto do distribuidor superior de água.

Figura 10 - Foto do vertedor inferior/ tubo de vapor.

Figura 11 - Foto do distribuidor superior de água.

Figura 12 - Foto do vertedor inferior/ tubo de vapor

b) A catalização da resina (Cura), foi realizada com iniciador Peróxido Metil Etil Cetona (MEKP) e promotor Naftenato de Cobalto (CoNaf).
c) Do mesmo modo todos os bocais flangeados ou outras conexões (encaixe dos visores), foram revestidas inclusive as faces de assentamento, e após a cura do revestimento, foram alargados as furações de fixação existentes, com posterior banho de resina pura com pincel nas fibras expostas.

Importante: É necessário um controle dimensional rigoroso nas faces de assentamento das juntas dos bocais flangeados, garantindo assim um alisamento, paralelismo e faceamento entre as partes de vedação objetivando um perfeito assentamento das "guarnições" (juntas de vedação).

d) Após cura completa do revestimento (RESINA), realiza-se mapeamento interno (fundo, costado e partes internas), com testes de polimerização, utilizando Durômetro BARCOL, comparou-se os resultados de dureza determinados pelo fabricante da resina. Os valores de referência para resina aplicada é de 30 a 31 Barcol, com recomendação de acréscimo de 2 a 3 pontos Barcol, para compensar a colocação do Véu Sintético segundo o fabricante [6].

Também deve-se realizar teste de Acetona para os pontos acima, através de impregnação de tocha de algodão e verificando a cura final do laminado pelo tato manual, conforme [6].

Finalmente recomenda-se realizar teste de faísca "Spark Plug", para o revestimento em substrato metálico, que consiste na detecção de descontinuidade do revestimento, com a passagem de escova metálica submetida a tensão de 3.000 volts [6].

e) Por se tratar estes equipamentos (Condensadores), aplicados em conjunto com equipamentos para fabricação de açúcar para consumo humano, será exigido dos fornecedores dos revestimento e fabricação dos laminados, a execução e acompanhamento de pós cura da catalização, com o emprego de lâmpadas dispostas estrategicamente, ou aquecedores de ar, fazendo a total eliminação do estireno volátil do laminado, que finalmente será eliminado por consecutivas lavagens com detergente e água quente (até 70 ^{o}C).

Figura 13 - Foto do distribuidor superior de água.

Figura 14 - Foto do vertedor inferior/ tubo de vapor.

3. ENSAIOS PARA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DO REVESTIMENTO (LAMINADO) DO SUBSTRATO METÁLICO

Foram realizados ensaios para determinação da melhor resistência ao arrancamento do revestimento (laminado) em substrato metálico, através de dois tipos de amostras, contendo a variável somente na aplicação da pintura de primer no substrato metálico antes do início da aplicação do revestimento, onde se utilizou os procedimentos das Normas ISO 4624 ou ASTM D-4541 – Standard Test Method for Pull-Off strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers [7]:

Este ensaio objetivou determinar o comparativo de qual o melhor tipo de ancoragem que se pode conseguir ao laminado, em função do tipo de colagem deste ao substrato metálico. Esta busca se devem as análises de falhas registradas dos laminados quando do seu desenvolvimento, pois em quase sua totalidade a falha ocorria na interface de fixação do laminado e o substrato metálico, desta forma este procedimento foi recomendado para esta aplicação, que promove o arrancamento mecânico do laminado do substrato metálico perpendicular a superficie, simulando a ação do vácuo na superfície do revestimento em condições de operação.

Amostra 1 (Figura 15): Chapa de aço carbono laminada, jateada ao branco, com pintura de primer a base de resina epóxi modificada.

Amostra 2 (Figura 16): Chapa de aço carbono laminada, jateada ao branco, com pintura de primer a base de resina pura éster vinílica.

Figura 15 – Aplicação de pintura de primer a base de resina epóxi modificada com em substrato metálico.

Figura 16 – Aplicação de pintura de primer com resina éster vinílica pura no do substrato metálico.

Ambos os corpos de prova seguiram as etapas de laminação descritas anteriormente como aplicação do revestimento. Veja figura 18, a aplicação da camada base, e figura 19 o laminado após as etapas de camada estrutural, barreira química (liner) e acabamento superficial.

Os elementos extratores são fixados a superfície do revestimento por colagem e depois delimitado área de arrancamento com o uso de uma serra copo em torno do perímetro de colagem do corpo do extrator.

Segue nas figuras 21, 22, 23 e 24 a vista do dispositivo extrator e do elemento de fixação em sua posição após realização com sucesso do descolamento.

Figura 17 – Aplicação da camada base ao substrato metálico.

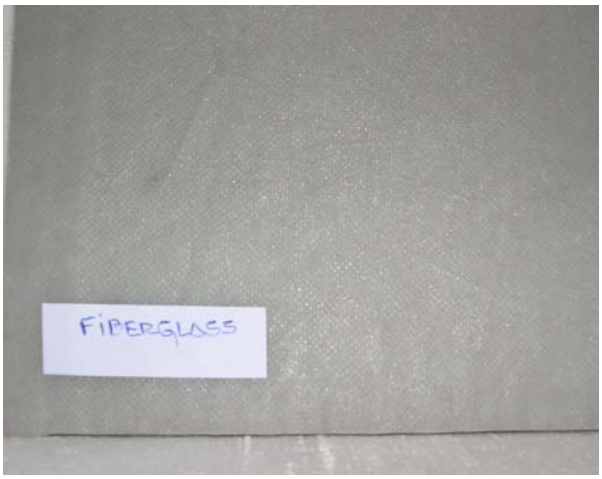


Figura 18 – Acabamento superficial do laminado.

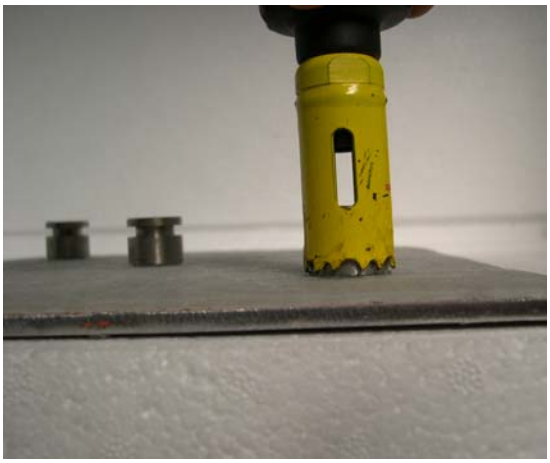


Figura 19 – Colagem do elemento extrator e delimitação da área laminada em torno mesmo com uso de serra copo.

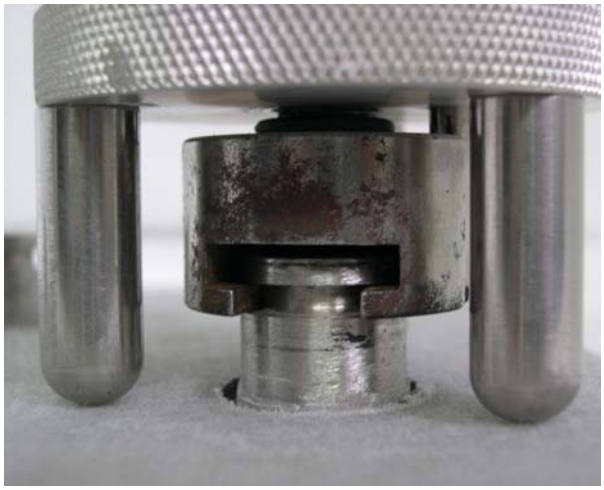


Figura 20 – Fixação do dispositivo tensionador (ERICHSEN Model 525) de extração do corpo.

Figura 21 - Foto do dispositivo tensionador com o elemento extrator fixado ao substrato metálico.

Figura 22 – Detalhe do resultado positivo da extração do elemento sobre o revestimento.

Figura 23 – Detalhe de fixação do elemento extrator ao dispositivo tensionador.

Figura 24 – Detalhe do dispositivo tensionador e dos elementos de fixação.

Na figuras 25 e 26, as fotos dos corpos de prova destacados, onde pode-se observar os resultados dos arrancamentos dos dispositivos, para as chapas com pintura de primer em epóxi e resina pura respectivamente.

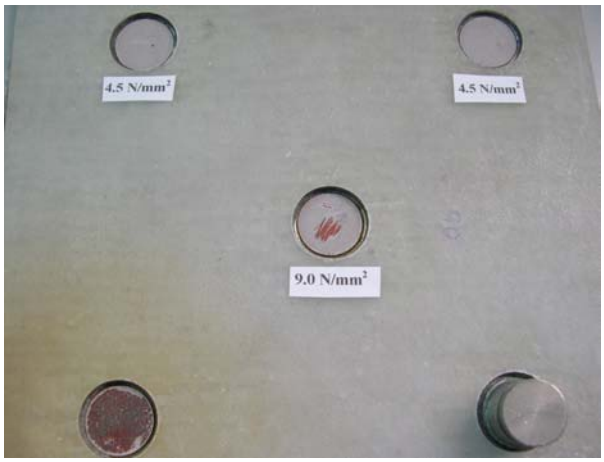


Figura 25 - Foto do corpo de prova com pintura de primer a base de resina epóxi modificada.

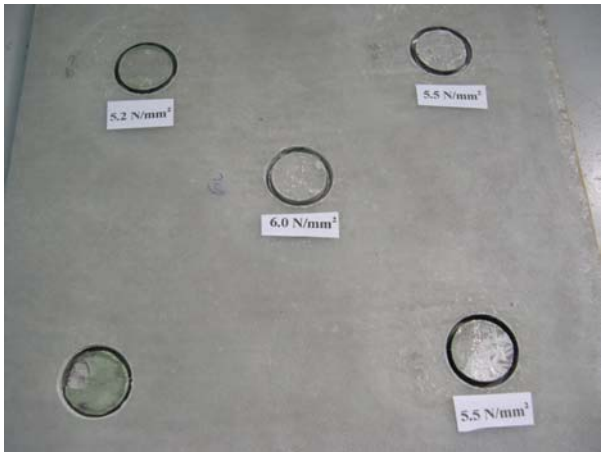


Figura 26 - Foto do corpo de prova com pintura primer a base de resina éster vinílica pura.

4. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

O método aplicado foi ISO 4624 ou ASTM D-4541 – Standard Test Method for Pull-Off strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers [7], (Ensaios de aderência, com dispositivo de colagem diâmetro 20,0 mm).
A especificação do dispositivo tensionador utilizado foi ERICHSEN D – 58675 Hemer, Model 525, com escala de tensão até 10 N/mm^2 (10 Mega Pascal).
Aderência do dispositivo de colagem, pelo uso de adesivo de epóxi, período de cura de 8 horas a temperatura de 23 ^{o}C.
Dimensões do substrato metálico de 300 mm de comprimento e largura, com espessura mínima de 6,35 mm, com colagem de cinco dispositivos espaçados a 75 mm das bordas e a 150 mm um do outro.

5. PROCEDIMENTOS

Os experimentos foram realizados em condições controladas de temperatura (25 ^{o}C), realizada com o mesmo tempo de pós cura dos laminados (7 dias), e com iguais procedimentos para fixação dos corpos de prova e ou aplicação da carga de arrancamento ou seja sem golpes até a ruptura, a razão de 0,1 N/mm^2 continuamente.
Colagem e delimitação da superfície em torno do dispositivo de colagem realizada 24 horas antes do ensaio.

6. RESULTADOS

Os valores médios obtidos dos ensaios de arrancamento de 15 experimentos, que após desconsideração dos não representativos como os valores de ponta (valores muito elevados e valores muito baixos), resultou em 5 ensaios válidos para cada tipo de pintura primer do substrato e dentre deste universo, consegue-se a média das tensões de arrancamento do laminado como segue descrito na tabela 1.

Tabela 1 – Valores médios obtidos dos ensaios de arrancamento.

Tipo de primer aplicado ao substrato	Tensão média de arrancamento do laminado (Mega Pascal)
Pintura de primer epóxi modificado	4,5
Pintura de primer com resina pura	5,5

Análise econômica do investimento

Os resultados são apresentados na forma de planilhas de custos comparativo, entre as opções dos equipamentos construídos integralmente em chapas metálicas, (aço carbono e aço inoxidável), sem revestimento de proteção anticorrosiva, e o comparativo do mesmo equipamento construído com revestimento e internos em PRFV.
Observa-se que as espessuras de costado do vaso de pressão, foram determinadas em função da solicitação mecânica de pressão negativa (vácuo), com base no código ASME [6], sendo que somente para o caso de construção integral em aço carbono sem revestimento foi admitida sobre espessura de corrosão de ¼" (6,35 mm), que lhe confere vida útil de 5 anos.

Tabela 2 – Valores de custo inicial do investimento

	Opção A	**Opção B**	**Opção C**
Material de fabricação	Aço carbono	Aço inoxidável	Aço carbono revestido (PRFV)
Esp. do costado (pol.) mm	(# 5/8") 15,88	(# 3/8") 9,53	9,525 + 3,00 = 12,53
Peso (Kg)	7871,00	5774,00	4551,00
Investimento Inicial (R$)	51.580,00	152.260,00	70.180,00
Mão de Obra de montagem (R$)	7.871,00	5.774,00	4.551,00
Vida útil mínima (anos)	5	20	20
Custo de desmontagem (R$)	2361,30	0,00	0,00

Tabela 3 – Resultado da análise de custo do investimento

VAC - Valor atual do custo (R$)	59.905,14	158.034,00	74.731,80
CÉU – Custo equivalente Uniforme (R$)	19.156,34	29.523,91	13.691,39
Valor presente do investimento (%)	100	264	125
Custo em função da vida útil (%)	100	154	73

Observações: As análises de custos do investimento levaram em consideração os seguintes fatores:

a) O custo da Mão de obra de montagem é com base no peso total do equipamento, no valor de 1,00 R$/Kg, e para desmontagem no caso de substituição da Opção A como sendo de 0,50 R$/Kg.
b) A Vida útil mínima de 5 anos para os condensadores construídos em aço carbono, foi baseada em dados e registros da manutenção da Usina, até que sua sobre espessura admissível de corrosão do corpo seja consumida por corrosão (1/4 ") 6,25 mm. Este desgaste é mais acentuado ainda nos condensadores que atendem os cozedores de massa de açúcar tipo B, onde as partes internas do condensador tem vida útil de uma safra.
c) Foi considerada como renda, a venda ao final da vida útil do equipamento da opção A, com valor de sucata ao custo de 0,28 R$/Kg e peso de 4722,6 Kg. (se refere a 60 % do peso original de 7871 Kg, em função da redução geral de espessura interna por corrosão de 15,88 mm para 9,53 mm).
d) A vida útil mínima de 20 anos considerada para os condensadores construídos integralmente em aço inoxidável e ou em aço carbono revestidos com plástico reforçado, e baseada no tempo de amortização total dos equipamentos, já que a vida útil para ambos os casos é superior.
e) O custo financeiro do dinheiro empregado, é com base na TJLT (Taxa de Juros em Longo Prazo, sendo incluso 6 % de juros real ao ano, totalizando valor de 18 % ao ano).
f) O "VAC", (Valor atual do custo), representa o valor presente do custo do investimento.
g) O "CÉU", (Custo Equivalente Uniforme), representa o custo uniforme equivalente na data do investimento, em função do período em estudo ou vida útil mínima dos condensadores.
h) O valor presente do investimento (%), e o Custo em função da vida útil (%), são ambos referenciados a base do condensador construído em Aço Carbono sem revestimento.

7. CONCLUSÕES

O desenvolvimento mais importante nesta aplicação de revestimento, foi sem dúvida a determinação da correta composição do laminado, mais ainda responsabilizada pelo tipo de aplicação de primer ao substrato metálico. Neste caso em estudo, ficou claro as vantagens da aplicação de pintura de resina éster vinílica pura. O emprego de primer a base de resina epóxi com pigmentação de óxido de ferro, se prestam mais a revestimentos com espessuras menores e onde a temperatura de trabalho seja inferior a 80 ^{o}C. Os ensaios de arrancamento de laminado foram decisivos nesta escolha, mostrando que a pintura de primer com resina pura apresenta uma tensão de arrancamento de 5,5 Mpascal contra 4,5 Mpascal do primer em epoxi.
A conclusão da análise de custo resulta em que, apesar da Opção C (corpo em aço carbono com revestimento interno em PRFV) possuir valor presente de investimento de 25 % acima do que a Opção A (corpo em aço carbono sem revestimento), o seu custo em função da vida útil mínima de 20 anos se mostrou mas econômico em 27 %, com tempo de retorno de 3 safras.
Já a opção B (corpo em aço inoxidável), apresentou um va-

lor presente de investimento de 264 % e custo em função da vida útil superior em 54 %, ambos em relação a opção A referencia, sendo injustificável sua escolha como investimento para qualquer vida útil considerada.

8. REFERÊNCIAS

1. HUGOT, E., Manual da Engenharia Açucareira. São Paulo: Editora Mestre Jou, 1969.
2. ICUMSA International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis, ou Determinação de cor ICUMSA Segundo Norma ABNT NBR 9724 de 12 janeiro. 1980.
3. ABNT Associação Brasileira de Normas técnicas NBR 10370 Avaliação de pontos pretos do açúcar, julho 88.
4. ABNT Associação Brasileira de Normas técnicas NBR 10270 Determinação de resíduos insolúveis, março 88.
5. ASME, 1992 ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Seção VIII. EUA, The American Society of Mechanical Engineers 1992, p. 633-41
6. DOW Química – Manual para a Industria do Álcool – 1991, 62 p.
7. ASTM D 4541 Standard Test Method for Pull-off strength for Coatings Using Portable Adhesion Tests.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Engº Renzo Testa, pelo incentivo, confiança e ensinamentos transferidos.