

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

MIRIAM DE SIQUEIRA GIOIA

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE PROCESSOS DE TRATAMENTO
SUPERFICIAL POR FOSFATIZAÇÃO EM CHAPA DE AÇO PINTADA
COM TINTA A PÓ HÍBRIDA

São Paulo
2008

MIRIAM DE SIQUEIRA GIOIA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE PROCESSOS DE TRATAMENTO
SUPERFICIAL POR FOSFATIZAÇÃO EM CHAPA DE AÇO PINTADA
COM TINTA A PÓ HÍBRIDA**

Monografia apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do certificado de especialista em Engenharia
da Qualidade – MBA / USP

São Paulo
2008

MIRIAM DE SIQUEIRA GIOIA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE PROCESSOS DE TRATAMENTO
SUPERFICIAL POR FOSFATIZAÇÃO EM CHAPA DE AÇO PINTADA
COM TINTA A PÓ HÍBRIDA**

Monografia apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do certificado de especialista em Engenharia
da Qualidade – MBA / USP

Orientador:
Prof. Dr. Adherbal Caminada Netto

São Paulo
2008

DEDICATÓRIA

A meus pais por me permitirem obter a formação que hoje possuo e ao meu esposo Milton e filhos Milton e Helena pelo apoio e compreensão nas horas de ausência.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela presença constante em minha vida.

Ao meu orientador e amigo, prof. Dr. Adherbal Caminada Netto pela dedicação e todos os conhecimentos transmitidos.

Às empresas Miralux e Isocoat pela gentileza em ceder suas instalações para a execução deste trabalho.

RESUMO

Pretende-se avaliar a eficiência de dois processos de preparação para pintura: o de fosfatização tradicional e o de fosfatização orgânica. Essa preparação, para a aplicação estudada, é utilizada principalmente para garantir a aderência de tinta do tipo epóxi a pó visando maior proteção à corrosão.

Hoje a empresa em estudo possui um sistema de tratamento tradicional, composto por sete tanques com as seguintes funções, conforme seqüência no processo: desengraxante, lavagem, lavagem/cromatizante, refinador, aplicação de fosfato de zinco, lavagem e passivação. Após, as peças permanecem em uma estufa para secagem. Esse processo é eficaz, porém é complexo, requer controles permanentes e gera vários resíduos que terão que ser tratados antes do descarte.

Existe outro processo proposto denominado “fosfatização orgânica”, mais simples e rápido, que utiliza um único tanque (estágio único), sem a necessidade de enxágüe e em conseqüência, não gerando efluentes.

Portanto, pode-se afirmar que, o objetivo de fornecer dados técnicos, através de experimentos, que possam balizar a decisão da empresa quanto à adoção de um novo processo de pré-tratamento de chapas de aço (fosfatização) e sua influência na qualidade do produto final, foi plenamente atingido.

Palavras-chave: Corrosão. Tratamento de superfície. Fosfatização.

ABSTRACT

It is intended to assess the effectiveness of two methods of preparation for painting: the traditional phosphatizing and the organic phosphatizing. This preparation for the application studied, is mainly used to ensure the adherence of the epoxy-type paint powder aiming better protection against corrosion.

Today the company which has been studied has a system of traditional treatment composed of seven tanks with the following functions, as in the process sequence: blasting, washing, rinsing / chromating, refiner, application of zinc phosphate, cleaning and passivation. After that, the pieces remain in a greenhouse for drying. This process is effective, but complex, requires permanent controls and generates waste that must be treated before disposal.

There is another proposed process called "organic phosphatizing", simpler and faster, which uses a single tank (single stage), without the need for rinsing and, as a result, not generating effluents.

Therefore, one can say that the goal of providing technical data, through experiments, which could mark the company's decision regarding the adoption of a new process for pre-processing of steel plates (phosphatizing) and its effect on the quality of the final product, was fully achieved.

Keywords: Corrosion. Surface treatment. Phosphatizing.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABILUX	Associação Brasileira da Indústria da Iluminação
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
Empresa “B”	Empresa que utiliza fosfatização tradicional
Empresa “X”	Empresa fornecedora da fosfatização orgânica
Empresa “T”	Empresa fornecedora de Tinta a pó
ISO	International Organization for Standardization
MBA	Master Business Administration

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	09
1.1 Objetivo.....	09
1.2 Caracterização da organização.....	11
1.3 Fluxograma do Processo.....	13
2 PARTE TEÓRICA.....	14
2.1 Fosfatização.....	14
2.2 Histórico da Fosfatização.....	14
2.3 Processo e sua importância.....	15
2.4 Fosfatização tradicional com zinco.....	17
2.5 Fosfatização orgânica.....	18
3 PARTE EXPERIMENTAL.....	20
3.1 Especificação da Amostra.....	20
3.2 Metodologia adotada.....	22
3.2.1 Fosfatização orgânica.....	22
3.2.2 Fosfatização com fosfato de zinco.....	24
3.2.3 Pintura.....	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31
5 CONCLUSÃO.....	35
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36
Anexo A Termografia da Estufa da Empresa “T”.....	37

1 INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo a avaliação experimental de dois tratamentos de superfície que antecedem a pintura a pó epóxi de luminárias em chapa de aço. O resultado deste trabalho será utilizado como orientação técnica para que a empresa “B”, fabricante de luminárias, defina entre a manutenção do processo existente de pré-tratamento tradicional e a adoção de um novo processo de pré-tratamento conhecido por fosfatização orgânica, fornecido pela empresa “X”.

O sistema de pintura existente é constituído por três etapas: tratamento pré-pintura com fosfatização tradicional, a pintura com tinta a pó epóxi híbrido e a secagem em estufa, por volta de 200°C, para a cura da tinta.

O tratamento pré-pintura ou tratamento de superfície é fundamental para a qualidade da pintura do produto acabado. Contaminantes podem prejudicar seriamente a aderência da tinta, diminuindo a resistência a esforços mecânicos e permitindo a penetração de água ou outros agentes agressivos, favorecendo a formação de empolamento e de corrosão sob o filme, chegando a causar a ruptura do mesmo.

Segundo Vicente Gentil (2007), corrosão é definida como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente associada ou não a esforços mecânicos. Essa mesma definição é a adotada por Werner Grundig (1971).

O tratamento de superfície chamado fosfatização tradicional é um sistema de tratamento composto por sete etapas com as seguintes funções: desengraxante, lavagem, lavagem/cromatizante, refinador, aplicação de fosfato de zinco, lavagem, passivação e secagem em estufa. Esse processo é eficaz, porém complexo e requer controles permanentes das soluções além de gerar vários resíduos, que precisam ser tratados antes do descarte.

Existe outro sistema proposto, denominado “fosfatização orgânica”, mais simples e rápido, de estágio único, sem a necessidade de enxágüe não gerando, portanto efluentes.

A primeira etapa no desenvolvimento do trabalho é a confecção de placas em chapa de aço para teste, medindo 100x200 mm, que são identificadas através de cintas

plásticas numeradas. Optou-se pela confecção das placas, com o mesmo material utilizado nas luminárias, visando facilitar o transporte das peças e o manuseio durante os ensaios em laboratório. Essas placas podem ser vistas na figura 1 abaixo.

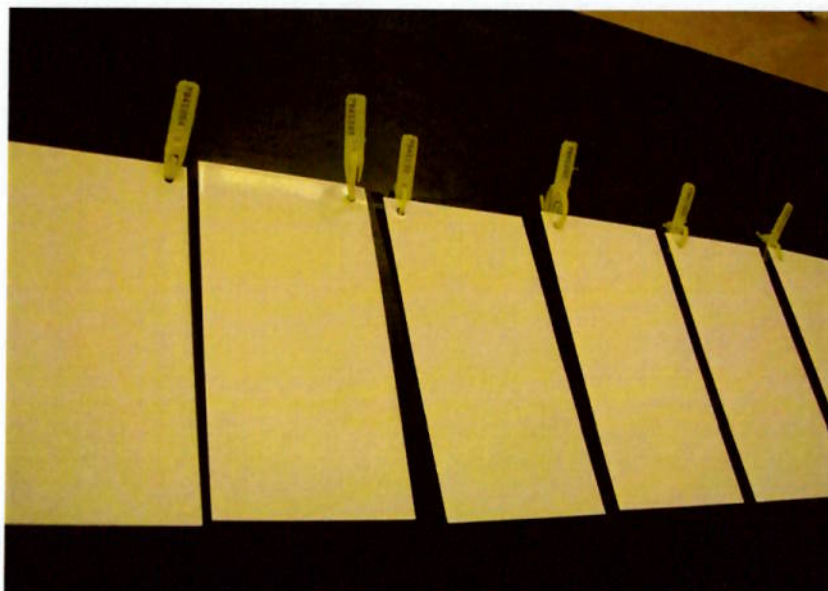


Figura 1 Placas utilizadas como corpos de prova nos ensaios

A segunda etapa consiste na aplicação do pré tratamento tradicional e orgânico nas amostras e em seguida a pintura das mesmas. Como a cura da tinta é crítica para avaliação da pintura, algumas amostras serão pintadas na própria empresa “B” e outras no fornecedor da tinta, que chamaremos de empresa “T”.

Essas amostras serão então testadas em laboratório da empresa “T”, com nosso acompanhamento, onde serão avaliadas pelos testes de névoa salina (300 e 200 horas), aderência, impacto e flexibilidade.

Portanto, o objetivo é a avaliação técnica dos dois processos de fosfatização, quando aplicados a chapas de aço, e sua importância na qualidade do produto final.

1.2 CARACTERIZAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO

A empresa, onde o estudo é realizado, é uma empresa familiar fundada em 1965 pelo atual proprietário; quando ele próprio comercializava e instalava luminárias fluorescentes. Em 1970, inicia a fabricação das suas próprias luminárias, investindo em tecnologia e pesquisa de projetos inovadores. Esta fase marca o início do sucesso da empresa, com a conquista do mercado. Atualmente, conta com cerca de 300 empregados e está instalada no Embu, em uma área de 30.000 m², com 6.000 m² de área construída.

No mês de abril do ano de 2004 a empresa conquistou a certificação de seu sistema de gestão da qualidade, conforme norma ISO 9001 e em agosto de 2006, de seu sistema de gestão ambiental, conforme ISO 14001, pela DNV.

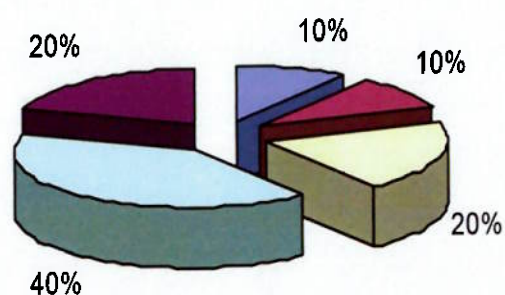
Os resultados alcançados por sua ampla linha de luminárias estão diretamente vinculados às constantes pesquisas promovidas no setor de peças e componentes, às medidas laboratoriais realizadas em dependências próprias.

Já o setor de iluminação caracteriza-se pela divisão em 11 diferentes segmentos, que abrangem desde o residencial, responsável por 23% do mercado, até o voltado para a indústria do entretenimento, conhecido como cênica responsável por 3%.

A indústria da iluminação brasileira é composta por 87% de empresas com mais de 5 anos, o que mostra a consolidação e estabilidade do setor.

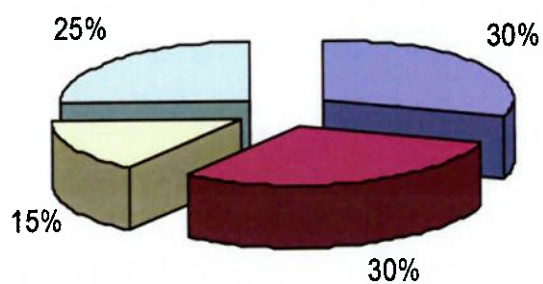
De acordo com números da Associação Brasileira da Indústria da Iluminação (Abilux), dentre os produtos fabricados os que lideram a lista produtiva do segmento são os voltados para a iluminação residencial e decorativa. Cerca de 38% das empresas são micro e pequenas, seguidas das consideradas médias (27%) e grandes (18%).

A Abilux aponta uma ocupação de 54.600 trabalhadores absorvidos pelo setor, sendo que 55% destas vagas são preenchidas por pessoas que estão diretamente ligadas à produção. Dentre os segmentos que mais geraram vagas em 2005 encontram-se o de iluminação comercial (15%), componentes (14%) e industrial (13%). Os gráficos 1 e 2 abaixo mostram a participação da empresa em questão, identificada como “Empresa B”, no mercado de luminárias decorativas e fluorescentes.

Participação no mercado - Luminárias Decorativas

■ Empresa A ■ Empresa B ■ Empresa C ■ Empresa D ■ Outros

Gráfico 1 Participação– Linha Decorativa

Participação no mercado - Luminárias Fluorescentes

■ Empresa A ■ Empresa B ■ Empresa C ■ Outros

Gráfico 2 Participação - Linha Fluorescente

I.3 FLUXOGRAMA DO PROCESSO

Para facilitar a compreensão do pré-tratamento dentro do processo, está representado abaixo, de forma simplificada, o processo de fabricação desde a entrada da matéria prima até a embalagem do produto acabado.

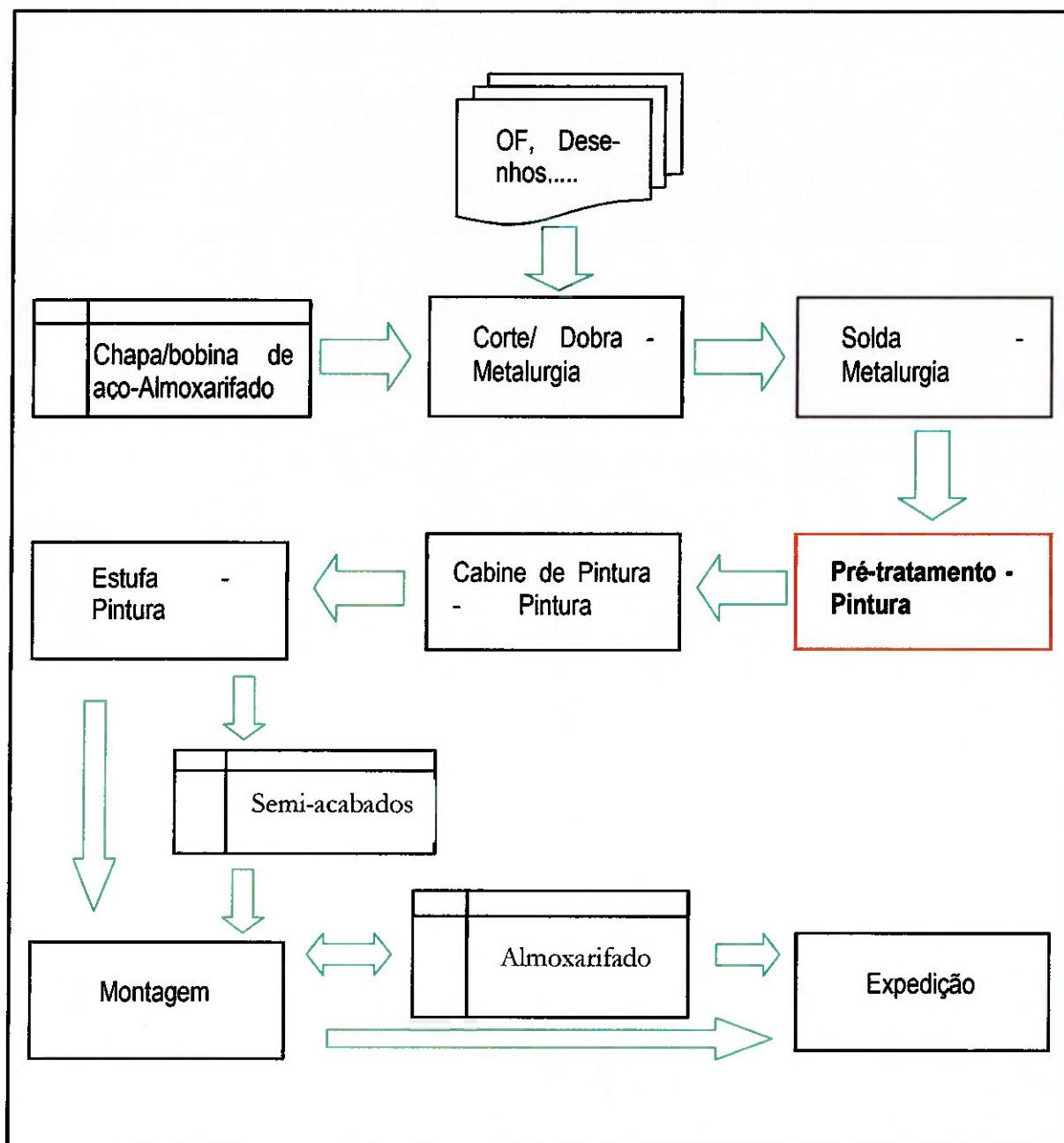


Figura 2 Fluxograma resumido do processo com destaque ao pré-tratamento

2 PARTE TEÓRICA

2.1 FOSFATIZAÇÃO

A fosfatização é um processo onde ocorre a deposição de fosfato sobre alguns metais como ferro, zinco, alumínio, magnésio e cádmio. Essa deposição, por si só não apresenta grande proteção à superfície metálica quanto à corrosão, porém é utilizada para aumentar a eficiência de outros métodos de proteção, como a pintura, proporcionando além da proteção, melhor durabilidade.

Isso se deve ao fato de que, através da conversão química da superfície metálica, prepara o substrato aumentando a porosidade e a área da superfície tratada, depositando uma camada de fosfato microcristalina, permitindo maior penetração e aderência da tinta.

A aderência é conseguida principalmente pelo fato de que a camada formada tem quase a mesma estrutura do substrato, conferindo assim maior proteção aos revestimentos quanto à corrosão, o que pode ser comprovado pelos ensaios de laboratório como névoa salina, aderência, entre outros. Por melhor que seja a qualidade da tinta, o acabamento não apresentará durabilidade caso a preparação da chapa também não seja de qualidade.

A fosfatização pode também ser utilizada na deformação a frio e na trefila, diminuindo a tensão entre o produto sendo trabalhado e a ferramenta.

2.2 HISTÓRICO DA FOSFATIZAÇÃO

A descoberta do processo de fosfatização data de muitos anos, quando foram descobertos em Salzburg, no norte da Áustria, utensílios ferrosos com mais de 17 séculos de idade e em ótimo grau de conservação. Observou-se que havia sobre os objetos uma fina camada azulada de vivianita (complexo de fosfato de ferro) decorrente da presença de fósforo no solo, proveniente do fosfato de cálcio dos ossos que rodeavam as peças, com a água rica em gás carbônico das minas subterrâneas, como também do conhecimento dos antigos romanos de tratamentos superficiais.

Sabemos que no século XIX, já se empregavam camadas protetoras de fosfatos em superfícies metálicas. Em 1869 W.A.Ross documentou a utilização de ácido

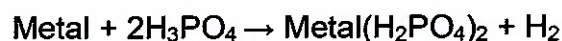
fosfórico na proteção anti-corrosiva de ferro e aço. Porém foi só em 1906 que o método foi patenteado, quando o inglês T.W. Coslett descobriu que conseguia a proteção do ferro contra oxidação usando um tratamento por imersão em solução quente de ácido fosfórico diluído e pedaços do próprio metal para reduzir o ataque do ácido. Esse é o motivo da fosfatização ser conhecida por “cosletização” por muito tempo.

Foi o próprio Coslett que em 1910 e 1911 incluiu a utilização do zinco em novas patentes. Outros processos com o emprego do fosfato foram surgindo e sendo utilizados em vários países industrializados.

Hoje é o tratamento de superfície mais utilizado pelas indústrias automobilísticas, de eletrodomésticos e de deformação a frio.

2.3 PROCESSO E SUA IMPORTÂNCIA

O processo de fosfatização é iniciado por uma corrosão do metal base, pois devido aos íons H^+ existentes na solução, irá ocorrer um ataque ácido, conforme representado abaixo:



Técnicamente, a importância do processo se deve a quatro aplicações principais:

- Aumentar a durabilidade do acabamento:

Esse objetivo é atingido uma vez que a camada de fosfato serve de barreira química para o desenvolvimento de corrosão sob a película, mesmo no caso da ruptura parcial desta. Também aumenta a aderência da tinta ao metal base, através do aumento da área de contato que os cristais proporcionam e pela formação de espaços entre os mesmos que, quando preenchidos pela tinta, servirão de âncora para a película.

- Melhorar a penetração do óleo protetivo:

Como já foi dito, a fosfatização por si só não representa proteção ao metal base, pois os espaços entre os cristais permitirão a oxidação, mesmo que seja de forma mais lenta. Porém, utilizando-se cristais de dimensões pouco maiores, estes formarão bolsões que poderão reter óleo protetivo, permitindo que a pintura seja feita em uma época posterior.

- Facilitar a deformação de peças a frio:

Essa aplicação da fosfatização já era conhecida pelos alemães desde 1935 para a fabricação de armamentos, porém começou a ser comercializada, somente muitos anos depois, por motivos óbvios.

Como no caso anterior, a retenção do lubrificante utilizado na deformação a frio de forma mais eficiente faz com que o metal da ferramenta deslize sobre a peça sendo transformada de forma mais suave, evitando assim estrias e fadiga do mesmo.

Normalmente utiliza-se o fosfato de zinco para esse fim, pois este reage com o estearato de sódio existente na formulação dos sabões de trefila, formando um composto de estearato de zinco, responsável pela diminuição do desgaste das ferramentas utilizadas no processo de trefila.

- Melhorar a interação entre adesivos e peças:

Da mesma forma que a fosfatização é utilizada para aumentar a proteção anti-corrosiva e a aderência das tintas em chapas metálicas, também é utilizada para aumentar a fixação de plásticos ou borrachas que são aplicados sobre as peças metálicas.

Existem diversas formulações que são utilizadas para os processos de fosfatização, dependendo da sua aplicação. Podemos citar o fosfato de zinco, fosfato de ferro, fosfato de manganês, fosfato tricatiônico e o fosfato quase amorfo.

Neste trabalho vamos nos ater à fosfatização com fosfato de zinco que é o processo empregado pela empresa "B", e conseqüentemente, foi o tratamento utilizado no estudo em questão.

Existem diversas formas de aplicação da fosfatização: por imersão, manual, aspersão e aspersão-imersão. Não existe um método melhor ou pior, depende das dimensões e geometria das peças a serem tratadas. No caso em estudo a aplicação é feita por imersão em tanques de aço, cada um contendo uma solução específica, conforme veremos adiante.

2.4 FOSFATIZAÇÃO TRADICIONAL COM ZINCO

O processo de fosfato de zinco é amplamente utilizado, pois além da facilidade no controle e eficiência, abrange as quatro aplicações da fosfatização descritas acima, seja para aumentar a durabilidade do acabamento, melhorar a penetração do óleo protetivo, facilitar a deformação de peças a frio ou mesmo melhorar a interação entre adesivos e as peças. É composto por estágios, onde são utilizados alguns compostos químicos conforme sua finalidade. As formulações podem variar de um fornecedor para outro porém, os princípios básicos são mantidos.

1º estágio: Desengraxante: utiliza-se um granulado altamente alcalino formado por sais alcalinos, tensoativos, emulgadores, sequestrantes e produtos orgânicos, adequadamente balanceados para saponificar óleos animais e vegetais. A temperatura deve estar entre 75°C e 90°C e a concentração entre 6% a 8,5%. Deve-se controlar além desses fatores, o volume do banho.

2º estágio: Lavagem: utiliza-se água a temperatura ambiente e com trocas freqüentes, caso não seja possível utilizar processo de transbordo contínuo. Na empresa em estudo utilizam-se dois tanques consecutivos para lavagem das chapas de aço.

3º estágio: Refinador: utiliza-se um pó fino na cor branca formado por sais de titânio a temperatura ambiente, até 40°C, e pH entre 8 a 10. A concentração do banho e o seu pH devem ser controlados. A troca da solução deve ser feita a cada 2 dias ou no máximo semanalmente, dependendo do volume de peças tratadas.

4º estágio: Fosfatização: utilizam-se ácido fosfórico, fosfato ácido de zinco e nitrito de sódio como acelerador. A temperatura deve ser superior a 20°C, o pH e o teor de acelerador devem ser controlados.

5º estágio: Lavagem: utiliza-se água a temperatura ambiente e com trocas freqüentes.

6º estágio: Passivação: utiliza-se solução de polímeros ou solução inorgânica diluída de ácido fluorzircônico. As soluções ácidas de cromo não estão sendo mais utilizadas devido a aspectos ambientais. A temperatura deve ser entre 40°C e 70°C e o pH e concentração devem ser controlados duas vezes ao dia. A troca do banho deve ser feita uma a duas vezes por semana, dependendo do volume de peças

tratadas.

7º estágio: Secagem: utiliza-se estufa com queimadores a gás para a retirada de toda umidade das peças.

Hoje estão surgindo outras variações desse processo como o fosfato zinco-cálcio ou o fosfato tricatiônico, que não são objetos deste estudo.

2.5 FOSFATIZAÇÃO ORGÂNICA

A fosfatização orgânica, também conhecida por Ecophor é relativamente recente, talvez por esse motivo não encontremos muitos trabalhos a respeito.

É um processo de único estágio, a frio (temperatura ambiente) e sem enxágüe, portanto sem efluentes. Utiliza um produto feito através de um polímero que contém grupos de fosfatos dissolvidos em uma mistura de solventes orgânicos.

O princípio é a remoção do óleo da peça e a utilização desse mesmo óleo para formação de uma película plastificante, amorfa e incolor, de fosfatos de ferro inorgânicos modificados e selados por um filme polimérico.

Esse filme adere ao metal e proporciona a ancoragem da tinta quimicamente, através de reações, ao invés de ancoragem mecânica, princípio utilizado na fosfatização convencional. Parte do óleo, durante o período de tratamento, é dissolvida na mistura de solvente e parte é absorvida pelo polímero. Durante o tratamento, o polímero reage com o metal e cria uma película contínua e muito fina, de estrutura tridimensional, composta por fosfatos orgânicos e inorgânicos que contribui para a maior aderência da tinta e melhora os resultados quanto a resistência à corrosão. O filme de polímero criado pelo processo garante uma proteção temporária contra ferrugem permitindo a guarda de peças ainda não pintadas, por um período de 4 a 5 meses em depósitos fechados ou alguns dias ao tempo.

Para a aplicação do tratamento é utilizado um único tanque para imersão ou um túnel com um só estágio para aplicação de spray. Portanto a planta é reduzida e evita os custos adicionais de energia das plantas de tratamentos multi-estágios.

Faz-se necessário a utilização de um forno no estágio de secagem, para permitir a

evaporação dos fluidos orgânicos. Também não gera resíduos sólidos, problema típico dos processos de fosfatização tradicionais. Logo, se a planta for utilizada corretamente, é necessário apenas os materiais de consumo e os produtos químicos, que tem vida útil praticamente ilimitada.

Ecophor também não é considerado pelas normas como material combustível. É um líquido que contém substâncias voláteis, de cor amarelada transparente; apresenta pH entre 3 e 4,5 e é insolúvel em água. É compatível com todos os produtos de pintura e deve ser conservado a uma temperatura entre 5 a 40°C, longe de fontes de calor.

Aplicação: O produto é fornecido pronto para o uso, podendo ser necessário a utilização de um fluido (B/609), junto ao produto, para a complementação do nível do tanque. Pode ser utilizado em processo estático ou contínuo, de imersão ou spray. De uma forma geral o tempo de aplicação é de 60 a 120 segundos, dependendo da forma das peças e da quantidade de contaminantes. O tempo de escorrimento do produto é de 3 a 6 minutos e o tempo de secagem de 5 a 8 minutos, à temperatura ambiente. O sistema não requer controle analítico por parte do operador apenas de um sistema de filtragem contínuo.

Infraestrutura: Os tanques e as partes em contato com o produto devem ser de aço inoxidável. No caso de imersão, os tanques com o produto devem ter uma borda livre alta, de no mínimo 80 a 100 cm, para evitar-se que os vapores do solvente, mais pesados que o ar, se dispersem na área de trabalho, causando perigo além do odor e a perda de produto. Sendo assim, deve-se instalar um sistema de aspiração com o objetivo de evitar dispersão de vapores na área de trabalho.

É recomendada a instalação de um sistema de filtros, de fácil acesso para limpeza, visando reter as impurezas sólidas que estão nos materiais, como também para manter a solução no tanque limpa. O local deve ser segregado para evitar-se o desperdício do produto.

Impacto ambiental: O processo não utiliza água portanto, não provoca sua contaminação. Não há a geração de lama ou resíduos sólidos, também não contém solventes, substâncias cancerígenas, cloro-fluor-carbono (CFC) ou qualquer outra substância nociva à camada de ozônio.

3 PARTE EXPERIMENTAL

3.1 ESPECIFICAÇÃO DA AMOSTRA UTILIZADA

As amostras foram confeccionadas em chapa de aço SAE 1006/1008.

A tinta utilizada no experimento tem a seguinte especificação do seu fabricante, empresa "T": tinta em pó para pintura eletrostática tipo epóxi-poliéster branco brilhante, HBL 10028, lote 07110013, formulada para uso em substratos metálicos, com uma ótima combinação de propriedades protetivas e decorativas; tem peso específico de 1,75 g/cm³, brilho 90 a 100 ub e espessura de camada de 50-60 µm. Não é recomendada para uso prolongado em ambiente externo. É especificada para atender aos valores mostrados na Tabela 1 abaixo, quando aplicada a substrato de aço carbono com pré-tratamento de fosfato de zinco, espessura de camada de tinta de 55 µm e cura de 5 minutos a 200°C ou 10 minutos a 180°C (temperatura no metal).

Testes Mecânicos	Flexibilidade	ASTM D-522 Mandril Cônico	Passa 3,2 mm
	Aderência	NBR 11003 Corte Cruzado	Passa Gr-0
	Embutimento	BS 3900-E4 DIN 53156 "Erichsen Cupping"	Passa 8mm
	Dureza à lápis	ASTM D-3363	Passa Dureza HB
	Impacto	ASTM D 2794	Passa 100 Kgf.cm direto e reverso
Testes Químicos e Durabilidade	Névoa salina	ASTM B117 -500hs	Passa 500h- não ocorre corrosão em área maior que 2 mm da incisão
	Umidade 100%	ASTM D 2247/68 – 500h	Passa 500h – não ocorre empolamento ou perda de brilho
	Imersão em água destilada	ASTM D 870 – 240h	Passa- nenhum empolamento
Durabilidade externa	Envelhecimento acelerado	ASTM G53-96	Não aplicável
	Resistência química	Boa resistência a ácidos e óleos à temperatura ambiente	
	Estabilidade de cor a temperaturas elevadas	Excelente em exposição contínua até 125°C	
Pré-tratamento	As superfícies a serem pintadas devem estar limpas e sem graxa. Fosfato de ferro e fosfatização (zinco de baixo peso) de metais ferrosos melhoram a resistência à corrosão.		
Aplicação	Pode ser aplicada com equipamento de pintura eletrostática automático ou manual. O pó não aderido à peça pode ser recuperado com um equipamento adequado, reciclado e reutilizado no sistema de pintura a pó.		

Tabela 1 Especificação do fabricante da tinta utilizada no ensaio.

Conforme já mencionado, é fundamental para a qualidade da pintura e para garantir os resultados dos testes realizados, que a tinta esteja totalmente curada.

Para garantir essa cura foi levantada a curva da temperatura versus o tempo da estufa utilizada na empresa "T", que é tipo estacionária a gás, que chamamos de termografia, mostrada no Anexo 1.

A termografia consiste na fixação de termopares em uma chapa de aço para a verificação do comportamento da temperatura da chapa em função do tempo de permanência na estufa. Deve-se garantir a temperatura e tempo para a cura da tinta conforme especificados pelo seu fabricante. No caso da tinta a pó epóxi híbrida, a temperatura deve ser mantida a 200°C por 5 minutos ou 180°C por 10 minutos.

Os sensores de temperatura foram colocados da seguinte forma: dois na parte superior da chapa, dois na parte inferior e um imediatamente acima da chapa de aço (ar superior). Podemos verificar, pela curva reproduzida no Anexo 1, que a chapa permaneceu de 13 a 15 minutos acima de 180°C e de 12 a 15 minutos acima de 190°C. Conclui-se portanto que, permanecendo o tempo especificado, a tinta estará curada.

3.2 METODOLOGIA ADOTADA

3.2.1 Fosfatização Orgânica

As placas de 100 x 200 mm, logo após seu corte na metalurgia, passaram sequencialmente pelas etapas do pré-tratamento descritas a seguir, seguindo as instruções do seu fabricante "X":

A solução utilizada no pré- tratamento por fosfatização orgânica foi fornecida pelo fabricante "X" em um recipiente como mostra a figura 2.



Figura 2 Solução para Fosfatização Orgânica

Despejou-se a solução em um recipiente limpo e seco e imergiu-se as placas na solução durante dois minutos (figura 3). Tomou-se o cuidado de mergulhar apenas duas a três placas por vez de modo a garantir que todas as peças permaneceram em contato com a solução durante o tempo especificado.



Figura 3 Imersão das placas na solução

Deixou-se escorrendo por um período de quatro minutos, no mesmo local, sem que as amostras se tocassem ou tocassem no recipiente (figura 4);



Figura 4 Período de escorrimento da solução

Em seguida as amostras foram suspensas em um suporte, sem movimentação, em local quente e sem circulação de ar, por um período de trinta minutos (figura 5).

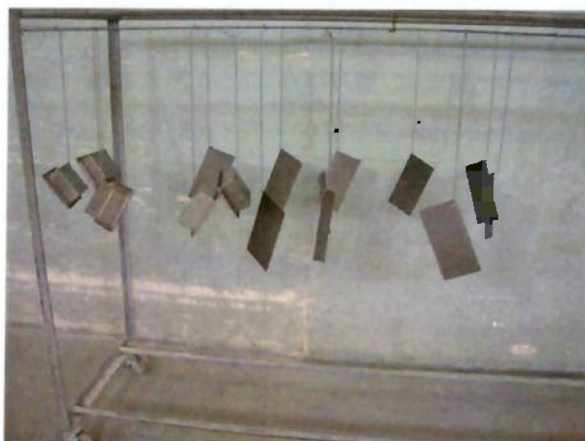


Figura 5 Secagem das placas

Para o armazenamento e transporte utilizou-se saco plástico.

A especificação do fabricante "X" é que o tratamento orgânico suporta até 300 horas de teste em câmara de névoa salina.

3.2.2 Fosfatização com fosfato de zinco

Outras placas sofreram as seguintes etapas de pré-tratamento por fosfatização com fosfato de zinco, procedimento usual da empresa “B”.

Começou-se pela disposição das peças em um cesto em conjunto com outras peças a serem tratadas pela produção conforme ilustram as figuras 6 e 7.



Figuras 6 e 7 – Disposição das peças para início do pré-tratamento com fosfato de zinco

Após a disposição iniciou-se o processo pela fase de desengraxe, com a imersão do cesto no tanque 01, através de uma monovia, durante dez minutos (figuras 8, 9 e 10).

Essa etapa é responsável pela limpeza das peças a serem fosfatizadas com a remoção das sujidades existentes nas superfícies metálicas como óleos ou partículas metálicas provenientes do processo de fabricação (corte, dobras, soldas etc.).



Figuras 8, 9 e 10- Imersão das peças no tanque 01: desengraxe

Na fase seguinte imergiram-se as peças nos tanques de números 02 e 03, para remoção de resíduos da fase anterior, conforme figuras 11,12 e 13.



Figuras 11,12 e 13 Imersão das peças nos tanques 02 e 03 para remoção de resíduos da fase 1

Essa fase, denominada de lavagem, evita que os resíduos alcalinos e óleos emulsionados da fase anterior (tanque 01) venham a contaminar as fases posteriores.

Para assegurar a qualidade da lavagem das peças, o cesto é removido e inserido na água algumas vezes.

Do mesmo modo, na fase 4, imergiu-se o cesto com as peças na solução refinadora durante dois minutos conforme figuras 14 e 15.



Figuras 14 e 15 Imersão das peças no tanque 04: refinador

Essa fase, denominada de refinador, é responsável pela preparação da chapa para a formação dos cristais de fosfato, ou seja, pela orientação dos cristais para que venham a formar uma camada uniforme.

Já nas fases 5 e 6 mergulhou-se as peças na solução de fosfato de zinco por um período de dez minutos e em seguida em água por um minuto para remoção dos resíduos de fosfato, conforme figuras 16 e 17.

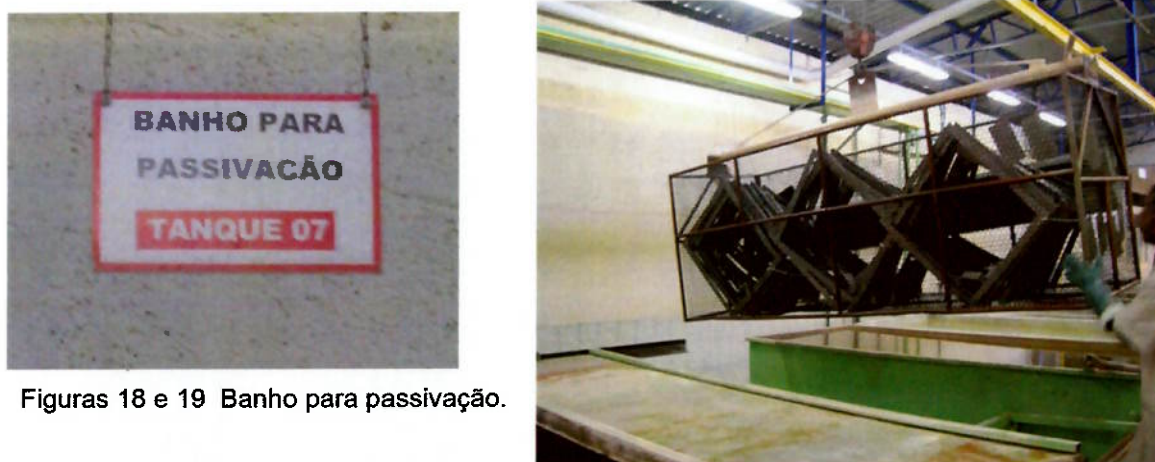


Figuras 16 e 17 Imersão das peças nos tanques 05 e 06: aplicação de fosfato e em seguida remoção de resíduos.

Nessa fase, denominada fosfatização propriamente dita, ocorre a deposição dos cristais de forma densa e uniforme.

Em seguida é feita a lavagem para a retirada de resíduos salinos e acidez resultante da reação de fosfatização, possibilitando a continuidade do tratamento e evitando a contaminação da próxima fase.

Na fase 07 mergulha-se o cesto no banho para passivação por um minuto conforme mostrado nas figuras 18 e 19.



Figuras 18 e 19 Banho para passivação.

A passivação é aplicada para a selagem dos espaços inter-cristalinos, evitando assim a possível oxidação do metal base, e em consequência melhorando a proteção contra a corrosão.

Finalmente, as peças permanecem na estufa para secagem por dez a quinze minutos e são então encaminhadas à pintura, conforme as figuras 20, 21, 22 e 23.



Figuras 20, 21 e 22 Estufa para secagem das peças.



Figura 23: Retirada da estufa e encaminhamento para a pintura

A cada 48 horas, o conteúdo do tanque de fosfatização é totalmente bombeado para a estação de decantação, onde é processada a decantação de todos os resíduos existentes. Decorridas 12 horas, o líquido, já decantado, é bombeado de volta para o tanque para ser feitas as medições de controle já apresentadas.

No tanque de decantação, os resíduos decantados são bombeados para o tanque de secagem onde, após secos, são segregados em tambores fechados e efetuado seu descarte por empresas especializadas.

Também a água utilizada no tratamento, antes de ser descartada, sofre um tratamento de neutralização e é direcionada para uso no processo ou mesmo nos banheiros da empresa.

3.2.3 Pintura

A tinta a pó é fornecida em uma embalagem única com todos os seus componentes básicos: resinas (poliéster e epóxi), pigmentos e aditivos, em forma de pó muito fino.

As peças são cobertas por essa camada uniforme de pó por meio de pulverização de revólveres eletrostáticos. Isso é conseguido mantendo-se um potencial de 20 kV a 100 kV nos eletrodos existentes no bico dos revólveres. Nesse processo a diferença de potencial é conseguida por meio de um gerador elétrico que pode atingir 100 kV e com baixas correntes, de no máximo 100 micro-ampères.

As partículas com carga negativa são atraídas pela peça a ser pintada que está ligada eletricamente a uma esteira com carga positiva.

A camada de pó ainda não formou a película, portanto desprende-se da peça com facilidade. Somente após a cura da tinta em estufa, a altas temperaturas é que a película é finalmente formada.

Segundo Vicente Gentil (2007), a cura da tinta é basicamente a fusão do pó e, em seguida, as reações de polimerização térmica envolvendo as resinas e os agentes de cura. Essas reações possibilitam a formação da película sólida e com as propriedades desejadas.

Como foi dito, a durabilidade da pintura epóxi a pó está diretamente relacionada com a qualidade do pré-tratamento da chapa como também de sua cura apropriada. Caso haja falha em um desses processos, a qualidade da pintura ficará comprometida.

Todo o sistema de pintura da empresa “B” estava em implantação, isto é, tanto a estufa contínua como as cabines de pintura estavam recém instaladas e em fase de testes. Sendo assim, para não comprometer os resultados dos ensaios optou-se pela adoção de dois procedimentos: pintura na própria empresa “B”, mesmo como verificação e auxílio no ajuste das temperaturas e velocidade da esteira da estufa mas principalmente a realização da pintura no fornecedor de tinta, empresa “T”, cujas cabines de pintura são similares à da empresa “B” porém a estufa é estacionária (apresentando melhor controle porém menor produtividade).

As figuras 24, 25 e 26 abaixo mostram respectivamente as cabines de pintura e a esteira com as placas na saída da estufa contínua, ambos da empresa “B”.



Figuras 24, 25 e 26 Cabine de pintura e vista da saída da estufa e da esteira da empresa “B”.

Não foi possível fotografar o processo de pintura e cura da empresa “T”.

Resumindo, as amostras foram numeradas e foram submetidas ao pré tratamento padrão da empresa “B” (tradicional) e padrão empresa “X” (orgânico). A pintura foi realizada tanto na empresa “B” como na empresa “T”, fornecedora da tinta, conforme mostrado na Tabela 2 abaixo.

Tomou-se o cuidado em se utilizar a mesma tinta nas empresas “B” e “T”, por isso foi fornecido à empresa “T” um quilo do pó epóxi-poliéster brilhante, HBL 10028, lote número 07110013.

As linhas da tabela que estão em destaque são as amostras, escolhidas de forma aleatória, e que foram testadas realmente. As demais amostras foram deixadas como sobressalentes no caso do surgimento de alguma dúvida nos resultados, durante os ensaios.

AMOSTRA	TIPO	TRATAMENTO	PINTURA	TESTE
7.939.975	PLACA	"X"	"B"	"B"
976	PLACA	"X"	"B"	"B"
977	PLACA	"X"	"B"	"T"
978	PLACA	"X"	"B"	"T"
7.941.050	PLACA	"B"	"T"	"T"
051	PLACA	"B"	"T"	"T"
052	PLACA	"B"	"T"	"T"
053	PLACA	"B"	"T"	"T"
054	PLACA	"B"	"T"	"T"
132	PLACA	"X"	"T"	"T"
133	PLACA	"X"	"T"	"T"
134	PLACA	"X"	"T"	"T"
135	PLACA	"X"	"T"	"T"
245	PLACA	"X"	"T"	"T"
246	PLACA	"X"	"T"	"T"
247	PLACA	"B"	"B"	"T"
248	PLACA	"B"	"B"	"T"
626	PLACA	"B"	"B"	"T"
627	PLACA	"B"	"B"	"T"
628	PLACA	"B"	"B"	"T"

Tabela 2 Amostra utilizadas :local do tratamento, pintura e ensaios.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após análise de algumas das amostras na empresa "T" – em negrito, obtiveram-se os seguintes resultados apresentados na tabela 3 e nas fotos das figuras 27 a 34.

Amostra nº - tratamento/pintura	Teste Realizado	Método	Especifi- cado	Realizado	Resultado
247- "B" / "B"	Névoa Salina	ASTM B117	300	300	Não atende
135- "X" / "T"	Névoa Salina	ASTM B117	300	300	Não atende
978- "X" / "B"	Névoa Salina	ASTM B117	300	300	Não atende
051- "B" / "T"	Névoa Salina	ASTM B117	300	300	Atende
626- "B" / "B"	Aderência	EN ISO 2409	GR-0	GR-0	Atende
626- "B" / "B"	Impacto	EN ISO 6772	80 Kgf	80 Kgf	Atende
626- "B" / "B"	Flexibilidade	Empresa "T"	3,2mm	3,2mm	Atende
977- "X" / "B"	Aderência	EN ISO 2409	GR-0	GR-0	Atende
977- "X" / "B"	Impacto	EN ISO 6772	80 Kgf	80 Kgf	Atende
977- "X" / "B"	Flexibilidade	Empresa "T"	3,2mm	3,2mm	Atende
245- "X" / "T"	Aderência	EN ISO 2409	GR-0	GR-0	Atende
245- "X" / "T"	Impacto	EN ISO 6772	80 Kgf	80 Kgf	Atende
245- "X" / "T"	Flexibilidade	Empresa "T"	3,2mm	3,2mm	Atende
053- "B" / "T"	Aderência	EN ISO 2409	GR-0	GR-0	Atende
053- "B" / "T"	Impacto	EN ISO 6772	80 Kgf	80 Kgf	Atende
053- "B" / "T"	Flexibilidade	Empresa "T"	3,2mm	3,2mm	Atende
573- "B" / "T"	Névoa Salina	ASTM B117	200	200	Atende
661- "X" / "T"	Névoa Salina	ASTM B117	200	200	Não atende
679- "B" / "B"	Névoa Salina	ASTM B117	200	200	Não atende
662- "X" / "T"	Névoa Salina	ASTM B117	300	300	Não atende
676- "B" / "B"	Névoa Salina	ASTM B117	300	300	Não atende
574- "B" / "T"	Névoa Salina	ASTM B117	300	300	Atende

Tabela 3 Testes realizados nas amostras selecionadas e resultados obtidos.

As seguintes avaliações foram adotadas:

Névoa Salina: Após 300 horas, não pode haver nenhuma corrosão maior que 2 mm da incisão. Para auxiliar na avaliação foram feitos alguns ensaios também com 200 horas de névoa salina.

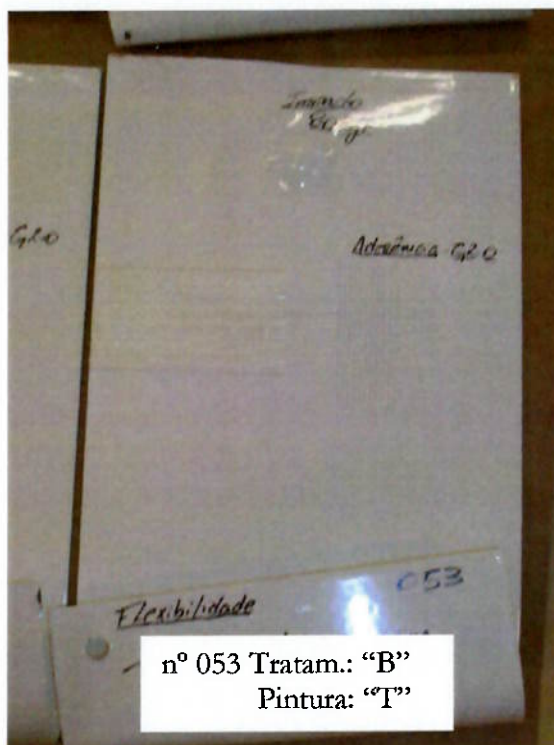
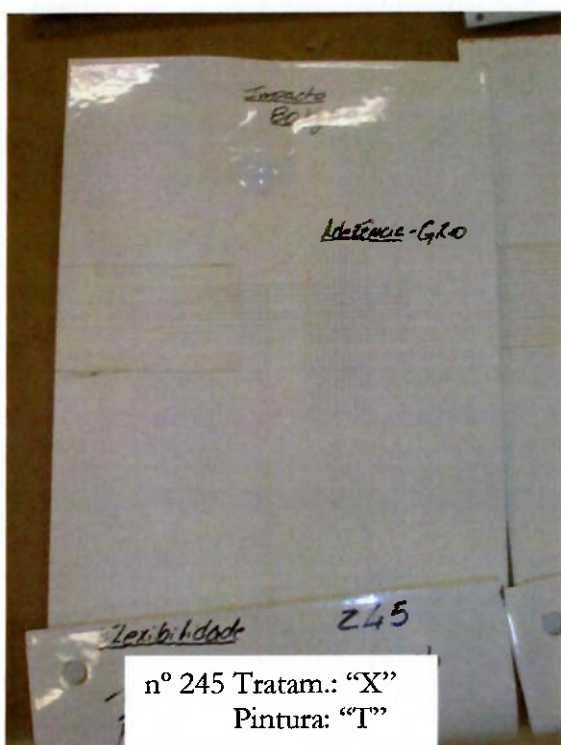
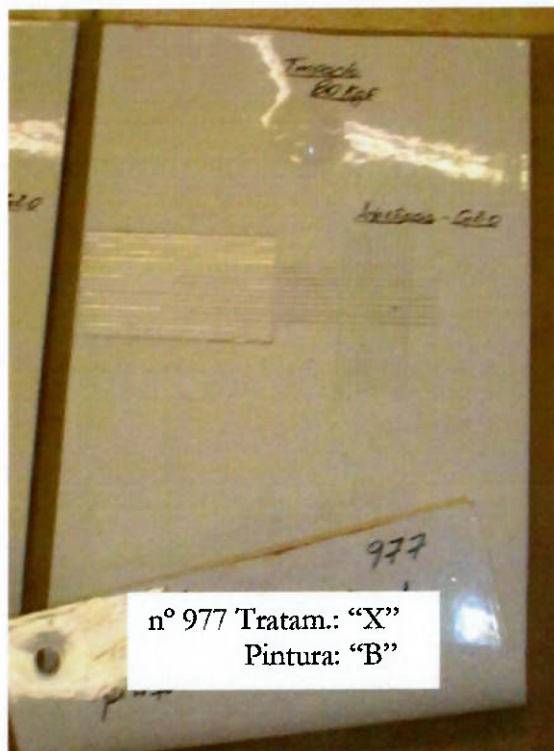
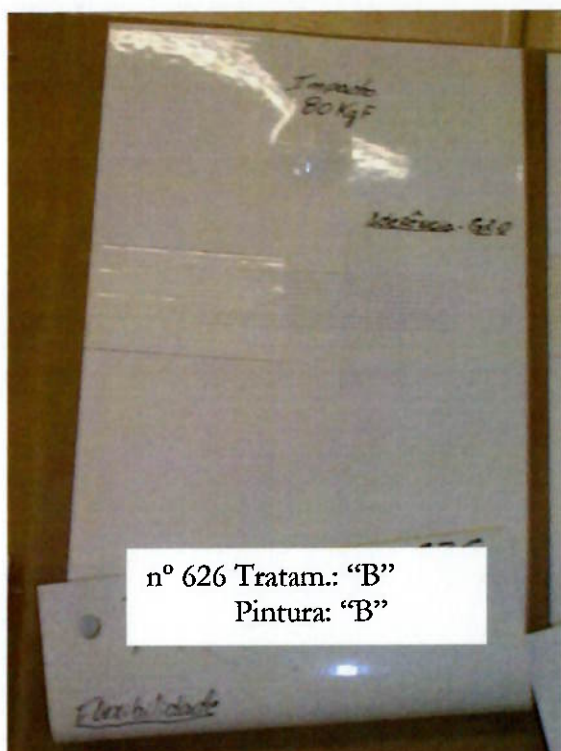
Aderência: Não pode haver deslocamento na região quadriculada.

Impacto: Não pode haver trincas ou deslocamento.

Flexibilidade: Não pode haver trincas ou fissuras.



Figuras 27, 28, 29 e 30- Foto das placas 247, 135, 978 e 051 que foram submetidas ao teste de Névoa salina na empresa "T".



Figuras 31, 32,33 e 34- Foto das placas 626, 977, 245 e 053 que foram submetidas aos testes de Adesão, Impacto e Flexibilidade.

Podemos observar pela tabela 3 que, tanto as amostras pré-tratadas com a fosfatização tradicional com fosfato de zinco como as tratadas com a fosfatização orgânica, atenderam às normas quanto aos requisitos aderência, impacto e flexibilidade pois não foram evidenciados deslocamentos, trincas ou fissuras.

Quanto ao ensaio de névoa salina, com 300 horas de permanência em câmara, fundamental na avaliação de proteção contra a corrosão, não foram aprovadas as amostras pintadas na empresa "B", com pré-tratamento convencional, pois foi evidenciada corrosão maior que 2 mm da incisão da amostra. Foi feito ensaio com 200 horas em uma amostra a qual também não foi aprovada. Da mesma forma, não foi aprovada a amostra com fosfatização orgânica (empresa "X") e pintura na empresa "B". Esse resultado é explicado pelo fato que o sistema de pintura da empresa "B" estava sendo substituído por novas cabines de pintura e estufa que encontravam-se em fase de implantação e testes. Justamente por estar em fase de testes que se optou pela realização da pintura e ensaios no fornecedor de tinta que realiza constantemente a aferição das condições da pintura e estufa (testes termográficos) para aprovação dos lotes de tintas. Esse resultado auxiliou no ajuste das temperaturas e tempos (velocidade da esteira) da nova estufa que ainda não estava apropriada para a cura da tinta. Isso comprova a premissa de que a cura da tinta isto é, sua polimerização, é fundamental para a qualidade da película de proteção final.

Agora, os mesmos ensaios de névoa salina, para 300 horas e 200 horas, foram repetidos para as amostras com pré-tratamento orgânico, empresa "X" e pintura e cura na empresa "T". Essas amostras também foram reprovadas pelos critérios das normas aplicadas.

Já as amostras com o pré-tratamento convencional - empresa "B"- e pintura e cura na empresa "T" foram aprovadas para 200 horas e 300 horas, uma vez que não foram evidenciadas corrosão de 2 mm nas incisões feitas nessas amostras, indicando que não houve infiltração ou propagação de ferrugem pela ruptura da proteção.

5 CONCLUSÃO

Este estudo teve por objetivo a avaliação experimental de dois tratamentos de superfície para servir como subsídio técnico à empresa “B”, fabricante de luminárias, quanto à manutenção do processo de pré-tratamento tradicional ou a adoção de um novo processo de pré-tratamento, conhecido por fosfatização orgânica.

Esse objetivo foi plenamente alcançado pois, baseado nos resultados dos ensaios apresentados, para as amostras estudadas e procedimentos adotados, conclui-se que o tratamento de superfície por fosfatização tradicional multi-estágios, utilizando fosfato de zinco, atende às 300 horas do ensaio de névoa salina conforme normas específicas ASTM e NBR, enquanto que o tratamento por fosfatização orgânica não atende a essa especificação.

Sendo assim, a empresa “B” permaneceu com o pré-tratamento convencional adotado evitando gastos com a adaptação de sua planta, procedimentos e insumos ao novo processo de fosfatização proposto.

Através deste estudo pode-se mostrar também a importância da cura da tinta e de um bom processo de pré-tratamento de chapas de aço, fundamental para garantir a durabilidade e proteção do acabamento aplicado.

Por outro lado, pode-se verificar que a fosfatização adotada é um processo caro, pois requer controle constante por parte do operador, dispêndio de energia para o aquecimento tanto no início como no final do processo, tratamento dos resíduos e efluentes além de, no caso de qualquer intercorrência, poder vir a comprometer a produção, já que as peças tratadas não podem ser estocadas, isto é, devem ser pintadas de imediato.

O assunto tratamento superficial é muito vasto. Sugere-se, para trabalhos complementares, estudos de viabilidade de outros pré-tratamentos existentes, pois ficou evidente a necessidade e busca das empresas que trabalham com chapas de aço pintadas, de processos de acabamento com melhor relação custo-benefício.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM B117-03: Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus**. EUA, 2003. 11p.
- AQUINO, I.P.; AOKI, I.V. **Pré-tratamento com silano protege aço-carbono contra corrosão**- Revista Corte & Conformação – Revestimento, nov. 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METAIS. **Corrosão e Tratamento superficiais de metais**. Capítulo 1, Parte 1, GRUNDIG, Werner. Capítulo 4, Parte 2, FOLDES, Alexandre G. 1971. 508p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8094: Material metálico revestido e não revestido – Corrosão por exposição à névoa salina – Método de Ensaio**, 1983. 3p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11003: Tintas – Determinação da aderência – Método de Ensaio**, 1990. 7p.
- BASS EQUIPAMENTOS LTDA. **Manual de Instruções de Operação e Manutenção – Equipamentos para Ensaio de Corrosão**, 2007.
- GENTIL, VICENTE. **Corrosão**. 5ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2007. 353p.
- HI-TEC. **Apostila de Treinamento: produtos e processos para tratamento de superfícies metálicas**. São Paulo. 13p.
- ISOCOAT. Especificações técnicas, 2007.
- ITALFINISH. Boletins técnicos, 2007.
- REVISTA TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE. São Paulo: ABTS : Associação Brasileira de Tratamento de Superfície, 2007-2008.
- ROSAS, W.R.; WANDERLEY, V.G.; SANTOS, I.M.V.C. **Comportamento à corrosão em ensaios acelerados de chapas zincadas soldadas por resistência elétrica por ponto**. ABRACO. Seminário Nacional de Corrosão. São Paulo: EPUSP, Anais do 14º SENACOR/EXPOCOR – Seminário nacional de Corrosão, 1987. Volume II.
- RUSSEL, JOHN B. **Química Geral**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1982.
- SOBRINHO, ANTONIO CARLOS DE OLIVEIRA. **ABTS: Fosfatização e noções de pintura**. São Paulo. 20p.
- TECHINICAL DATA SHEET. **Ecophor B/609**, 2004. 5p.
- WEG QUÍMICA. **DT-13 Apostila de Treinamento sobre Pintura Industrial em Pó**. São Paulo. 72p.

Anexo A – Termografia da Estufa da Empresa T utilizada no ensaio

