



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

Miriam de Siqueira Gioia, [miriam.gioia@cptm.sp.gov.br](mailto:miriam.gioia@cptm.sp.gov.br)  
Adherbal Caminada Netto, [adherbal@usp.br](mailto:adherbal@usp.br)

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Depto. De Engenharia Mecânica  
Av. Professor Mello Moraes, 2231  
Cidade Universitária - São Paulo - SP  
05508-970 - Brasil

**Resumo.** *Pretende-se avaliar a eficiência de dois processos de preparação de chapa de aço 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 etapas. Este processo é eficaz, porém é complexo, requer controles permanentes e gera vários resíduos a serem tratados antes do descarte. Existe outro processo proposto denominado fosfatização orgânica, mais simples e rápido, que utiliza uma única etapa sem a necessidade de enxágue e em consequência, não gerando efluentes.*

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

### **1. Introdução**

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 tratamento pré-pintura ou tratamento de superfície é fundamental para a qualidade da pintura do produto acabado. Conseqüentemente, existe vasta literatura a este respeito. No presente trabalho, recorreu-se particularmente a ASTM (2003), AQUINO (2007), ABM (1971), ABNT (1983; 1990), BASS (2007), GENTIL (2007), ISOCOAT(2007), ITALFINISH (2007), ABTS (2007-2008), ROSAS, WANDERLEY e SANTOS (1987) e RUSSEL (1982).

O sistema de pintura existente na empresa “B” é constituído por três partes: 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 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 enxágue não gerando, portanto efluentes.

A primeira etapa no desenvolvimento do trabalho é a confecção de placas em chapa de aço SAE 1006/1008 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.

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 foram pintadas na própria empresa “B” e outras no fornecedor da tinta, que chamaremos de empresa “T”.

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

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.

### **2. 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, maior 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.

Este trabalho restringe-se à fosfatização com fosfato de zinco que é o processo empregado pela empresa “B”, e consequentemente, foi o tratamento utilizado no estudo em questão.

## 2.1 Fosfatização tradicional com zinco

O processo de fosfato de zinco é amplamente utilizado, pois além da facilidade no controle e eficiência, abrange também as outras aplicações da fosfatização. As formulações podem variar de um fornecedor para outro, porém os princípios básicos são mantidos.

1º estágio: Desengraxante: utiliza-se um granulado altamente alcalino para saponificar óleos animais e vegetais; a temperatura deve estar entre 75°C e 90°C e a concentração entre 6% a 8,5%.

2º estágio: Lavagem: utiliza-se água a temperatura ambiente e com trocas frequentes; na empresa em estudo utilizam-se dois tanques consecutivos para lavagem das chapas de aço.

3º estágio: Refinador: utiliza-se um pó fino formado por sais de titânio a temperatura ambiente, até 40°C, e pH entre 8 a 10.

4º estágio: Fosfatização: utilizam-se ácido fosfórico, fosfato ácido de zinco e nitrito de sódio como acelerador, à temperatura superior a 20°C.

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

6º estágio: Passivação: utiliza-se solução de polímeros ou solução inorgânica diluída de ácido fluorzircônico e a temperatura deve estar entre 40°C e 70°C.

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

Todas as condições como temperatura, concentração, volume e pH devem ser controladas com frequência pré-determinada.

## 2.2 Fosfatização orgânica

A fosfatização orgânica 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. É um líquido que contém substâncias voláteis, de cor amarelada transparente, apresenta pH entre 3 e 4,5, é insolúvel em água e deve ser conservado a uma temperatura entre 5 a 40°C.

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 tradicional melhorando, portanto os resultados quanto à resistência à corrosão. Parte do óleo, durante o período de tratamento, é dissolvida na mistura de solvente e parte é absorvida pelo polímero. 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 de aço inoxidável para imersão ou um túnel com um só estágio para aplicação de spray; um forno no estágio de secagem, para permitir a evaporação dos fluidos orgânicos e um sistema de filtragem contínuo. O processo não utiliza água, portanto não provoca sua contaminação.

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

## 3. Metodologia do Ensaio

### 3.1 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 fornecida pelo fabricante “X” foi colocada em um recipiente limpo e seco onde imergiu-se cada placa durante dois minutos;
  - tomou-se o cuidado de mergulhar apenas duas a três placas por vez de modo a garantir que todas elas permaneceram em contato com a solução durante o tempo especificado;
  - deixou-se escorrendo por um período de quatro minutos, no mesmo local, sem que as amostras se tocassem ou tocassem no recipiente;
  - 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.
- Para o armazenamento e transporte utilizou-se saco plástico.

### 3.2. Fosfatização com fosfato de zinco

Outras placas foram dispostas em um cesto, o qual foi submergido em sete tanques, de forma sequencial, através de uma monovia. Estas placas sofreram as seguintes etapas de pré-tratamento por fosfatização com fosfato de zinco:

- tanque 1, fase de desengraxe, com a imersão do cesto durante dez minutos para a remoção das sujidades existentes nas superfícies metálicas;
- tanques 2 e 3, fases de lavagem, para evitar-se a contaminação das fases posteriores;
- tanque 4, refinador, com a imersão do cesto durante dois minutos, para a preparação da chapa na formação dos cristais de fosfato;
- tanques 5 e 6, fosfatização e lavagem, com a imersão na solução de fosfato de zinco por dez minutos e em seguida em água para remoção dos resíduos de fosfato, resíduos salinos e acidez resultante da reação de fosfatização;
- tanque 7, passivação, aplicada por um minuto para a selagem dos espaços inter-cristalinos, evitando assim a possível oxidação do metal base.

Finalmente as peças permanecem na estufa para secagem por dez a quinze minutos e são então encaminhadas à pintura.

## 4. 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. 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.

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, formulada para uso em substratos metálicos, tem peso específico de 1,75 g/cm<sup>3</sup>, brilho 90 a 100 ub, espessura de camada de 50-60 µm e cura de 5 minutos a 200°C ou 10 minutos a 180°C (temperatura no metal).

Para garantir essa cura foi levantada a termografia - curva da temperatura versus o tempo - da estufa tipo estacionária a gás utilizada na empresa “T”, mostrada na Fig. 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 em estudo, a temperatura deve ser mantida a 200°C por 5 minutos ou 180°C por 10 minutos. Podemos verificar, pela curva reproduzida na Fig. 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.

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

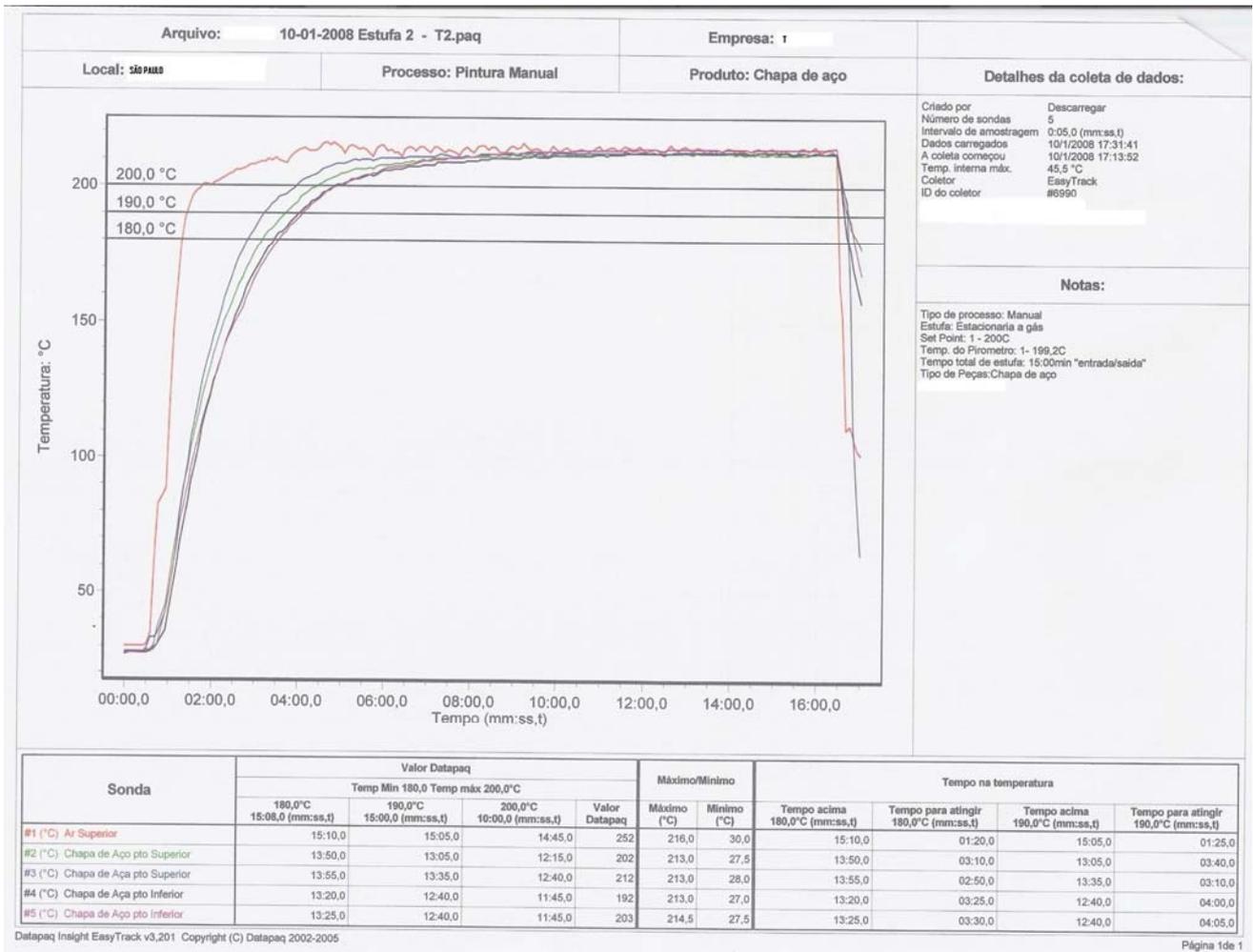


Figura 1. Termografia da Estufa utilizada na Empresa “T”.

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 Tab. 1.

Tabela 1. Amostras utilizadas: locais de tratamento, pintura e ensaios (Continua)

AMOSTRA	TRATAMENTO	PINTURA	TESTE
7.939.975	“X”	“B”	“B”
976	“X”	“B”	“B”
<b>977</b>	<b>“X”</b>	<b>“B”</b>	<b>“T”</b>
<b>978</b>	<b>“X”</b>	<b>“B”</b>	<b>“T”</b>
7.941.050	“B”	“T”	“T”
<b>051</b>	<b>“B”</b>	<b>“T”</b>	<b>“T”</b>
052	“B”	“T”	“T”
<b>053</b>	<b>“B”</b>	<b>“T”</b>	<b>“T”</b>
054	“B”	“T”	“T”
132	“X”	“T”	“T”
133	“X”	“T”	“T”
134	“X”	“T”	“T”
<b>135</b>	<b>“X”</b>	<b>“T”</b>	<b>“T”</b>
<b>245</b>	<b>“X”</b>	<b>“T”</b>	<b>“T”</b>
246	“X”	“T”	“T”
<b>247</b>	<b>“B”</b>	<b>“B”</b>	<b>“T”</b>

Tabela 1. Amostras utilizadas: locais de tratamento, pintura e ensaios (Conclusão)

AMOSTRA	TRATAMENTO	PINTURA	TESTE
248	“B”	“B”	“T”
<b>626</b>	<b>“B”</b>	<b>“B”</b>	<b>“T”</b>
627	“B”	“B”	“T”
628	“B”	“B”	“T”

Tomou-se o cuidado em se utilizar a mesma tinta nas empresas “B” e “T”.

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.

## 5. Resultados

Após análise das amostras testadas na empresa “T”, obtiveram-se os resultados apresentados na Tab. 2 e nas fotos mostradas na Fig. 2 e Fig. 3.

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.

Tabela 2 Testes realizados nas amostras selecionadas e resultados obtidos.

Amostra nº- tratamento / pintura	Teste Realizado	Método	Especificado	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



Figura 2. Foto das placas nºs 247,135, 978 e 051 que foram submetidas ao teste de Névoa Salina na empresa “T”.

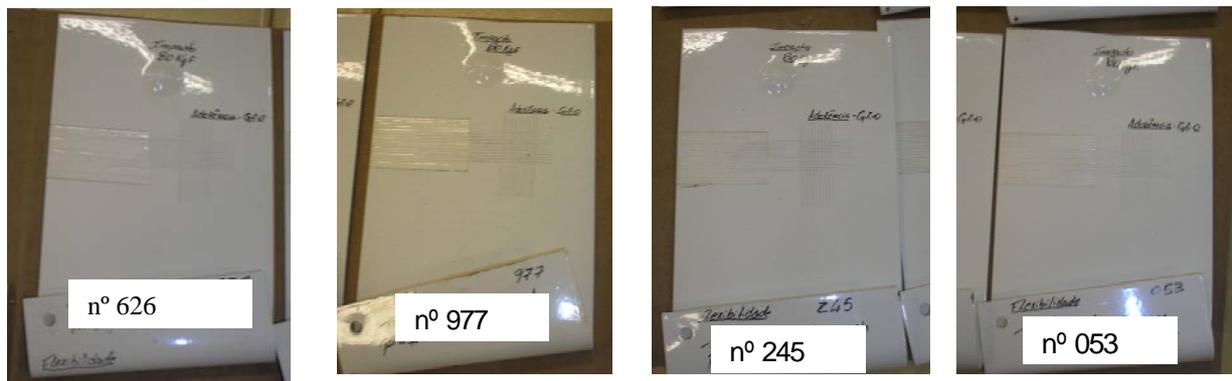


Figura 3. Foto das placas nºs 626, 977, 245 e 053 , submetidas aos testes de Aderência, Impacto e Flexibilidade.

Pode-se observar pela Tab.2 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, motivo pelo qual optou-se 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.

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 as 200 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.

## 6. Conclusão

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.

Através deste estudo pode-se mostrar 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, verificou-se que a fosfatização tradicional é um processo caro, pois requer controles constantes, dispêndio de energia para aquecimento, 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. Sugerem-se, estudos de viabilidade de outros pré-tratamentos, 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.

## 7. 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 - ABM. 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.
- \_\_\_\_\_. NBR 11003: Tintas – Determinação da aderência – Método de Ensaio, 1990. 7p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE – ABTS. Revista Tratamento de Superfície. São Paulo, 2007-2008.
- 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.
- ISOCOAT. Especificações técnicas, 2007.
- ITALFINISH. Boletins técnicos, 2007.
- 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, Volume II, 1987.
- RUSSEL, JOHN B. **Química Geral**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1982.

## 8. Nota de Responsabilidade

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso incluso neste paper.

# EFFECTIVENESS ASSESSMENT OF SURFACE PHOSPHATIZING PROCESSES FOR STEEL PLATES PAINTED WITH EPOXY-TYPE PAINT POWDER

Miriam de Siqueira Gioia, [miriam.gioia@cptm.sp.gov.br](mailto:miriam.gioia@cptm.sp.gov.br)  
Adherbal Caminada Netto, [adherbal@usp.br](mailto:adherbal@usp.br)

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Depto. De Engenharia Mecânica  
Av. Professor Mello Moraes, 2231  
Cidade Universitária - São Paulo - SP  
05508-970 - Brasil

**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 stages 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.*

**Keywords:** *Corrosion, Surface treatment, Phosphatizing, Plate.*