

---

Copyright 2018, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2018, em São Paulo, no mês de maio de 2018.

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

## **Avaliação de Desempenho Anticorrosivo e Custo de Esquemas de Pintura com Tintas em Pó, após 10 Anos de Exposição em Atmosfera de Elevada Agressividade**

Filipe Batista Fontes<sup>a</sup>, Alberto Pires Ordine<sup>b</sup>, Marcos Martins de Sá<sup>c</sup>

### **Abstract**

---

The electrical sector is in great demand for paint systems that provide better anticorrosive performance for their metal structures and equipments. Alternative technologies, such as powder paints, are seen as a good choice for anticorrosive protection. In this work, the performance of coatings with powder paints, compared to solvent based liquid paints, exposed in an aggressive urban atmosphere, over a period of 10 years, is investigated. Within the scope of the work, the samples were evaluated by coating quality parameters. Besides that, the costs were estimated through the use of a computational tool. It was observed that none of the coatings studied showed any cracking or blistering, only chalking of the top paint. Moreover, there wasn't any corrosion in the substrate. With the results obtained in this work, it can be assumed that powder paints can replace solvent based coatings regarding the quality of anticorrosive protection, in an aggressive environment, and the economic factor.

**Key-Words:** paint systems, anticorrosive protection, costs, coatings, paints.

### **Resumo**

---

O setor elétrico apresenta grande demanda por esquemas de pintura que apresentem melhor desempenho anticorrosivo para suas estruturas metálicas e equipamentos. Tecnologias alternativas, como as tintas em pó, têm-se mostrado uma boa opção para proteção anticorrosiva. Neste trabalho, investigou-se o desempenho de esquemas com tintas em pó, em comparação com tintas líquidas a base de solventes, submetidas à exposição em atmosfera urbana de elevada agressividade, durante um período de 10 anos. Dentro do escopo do trabalho, os corpos de prova foram avaliados por parâmetros de qualidade do revestimento. Adicionalmente, foram estimados os custos dos esquemas aplicados através do uso de uma ferramenta computacional. Observou-se que nenhum esquema estudado apresentou quaisquer defeitos relacionados a fendimento, empolamento ou grau de corrosão, apenas gizamento da tinta de acabamento. Pelos resultados obtidos, pode-se afirmar que a tecnologia de tintas em pó pode substituir aquelas a base de solventes orgânicos, no que se refere à qualidade de proteção anticorrosiva em ambiente agressivos e, em alguns casos, ao fator econômico.

**Palavras-chave:** esquema de pintura, proteção anticorrosiva, custo, revestimento, tinta.

---

<sup>a</sup> Graduando, Engenharia Química – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

<sup>b</sup> D. Sc. – Engenheiro Químico - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

<sup>c</sup> Técnico em Química - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

---

## Introdução

---

Os equipamentos e estruturas metálicas do setor elétrico estão presentes em toda a extensão do território nacional, podendo estar expostos a diferentes níveis de agressividade. Os esquemas de pintura compostos por tintas de fundo ricas em zinco garantem melhor proteção anticorrosiva a substratos de aço carbono. Este comportamento se dá pelo caráter anódico, em relação ao substrato, do pigmento presente no filme de tinta, que dessa forma é capaz de oferecer proteção nas regiões de falha de aplicação ou de dano mecânico à película seca. Este mecanismo de proteção catódica confere alto nível de qualidade aos revestimentos em relação ao desempenho anticorrosivo, ao longo dos anos (1). As tintas em pó são vistas como alternativas tecnológicas dentro do contexto ambiental e de segurança do trabalhador, uma vez que não liberam solventes durante ou após a aplicação, reduzindo a emissão de compostos voláteis para a atmosfera. A aplicação deste tipo de revestimento é realizada por processo eletrostático, o que favorece o reaproveitamento do material, dado que praticamente não há perdas (2). As tintas em pó possuem excelentes propriedades de aderência ao substrato, conferindo ao revestimento um ótimo desempenho anticorrosivo. Este é avaliado pelos graus de degradação da pintura e de corrosão, em condições de serviço. Ou seja, é importante durante a inspeção técnica dos esquemas de pintura a avaliação dos seguintes parâmetros, segundo Normas: gizamento (ISO 4628-6) (3), empolamento (ISO 4628-2) (4), grau de corrosão (ISO 4628-3) (5) e fendimento (ISO 4628-4) (6).

Este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados de desempenho dos revestimentos expostos em uma atmosfera urbana especial, com pulverização de solução NaCl 1% (m/m) duas vezes por semana, durante um período de 10 anos. Este ensaio foi baseado na norma ISO 11474 (7). O desempenho anticorrosivo dos corpos de prova foi avaliado, também em relação ao preparo de superfície, contemplando o jateamento abrasivo seco e a fosfatização, tendo em vista que as tintas em pó normalmente são aplicadas em substratos tratados por métodos químicos. Foram comparados diferentes revestimentos em pó entre si, com mecanismos de proteção por barreira e de proteção catódica, além de esquemas de pintura compostos por tintas convencionais. Os resultados mostram a importância de uma investigação de longo prazo, que indique como determinado esquema de pintura responde a uma dada atmosfera agressiva.

---

## Metodologia

---

Neste trabalho, foram utilizados corpos de prova confeccionados a partir de chapas de aço carbono AISI 1020, com carepa de laminação intacta (grau A) conforme a norma ISO 8501-1 (8) e dimensões de 150 mm x 100 mm, com espessura de 4,8 mm. Após passarem por uma etapa de desengraxe com solvente orgânico, os corpos de prova foram submetidos a dois tipos de tratamentos de superfície diferentes, a saber: jateamento abrasivo seco e fosfatização.

O jateamento foi realizado nas instalações do Cepel, utilizando-se granalha de aço angular (G50) até atingir o grau de limpeza Sa 3 (8), com perfil de rugosidade médio de 50  $\mu\text{m}$ . Já o tratamento químico de fosfatização foi realizado pela empresa responsável pela aplicação dos revestimentos em pó. O processo foi realizado à temperatura ambiente, utilizando fosfato de zinco, com uma espessura de camada média de 5  $\mu\text{m}$ .

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentadas, respectivamente, as características técnicas das tintas e os esquemas de pintura estudados.

**Tabela 1 - Características técnicas das tintas utilizadas nos esquemas de pintura estudados**

<b>Tintas</b>	<b>Descrição</b>	<b>Observações</b>
Zn1	Tinta de fundo epóxi-poliâmida, rica em zinco com teor de 82% de zinco na película seca	Tinta líquida
Zn2	Tinta de fundo à base de silicato de etila, rica em zinco com teor de 75% de zinco na película seca	Tinta líquida
EAE	Tinta intermediária epóxi de alta espessura curada com poliâmida	Tinta líquida
PU	Tinta de acabamento de poliuretano acrílico alifático	Tinta líquida
Zn3	Tinta de fundo epóxi, rica em zinco com teor de 63% de zinco na película seca	Tinta em pó
EB	Tinta de fundo epóxi, proteção por barreira	Tinta em pó
AP	Tinta de acabamento poliéster em pó	Tinta em pó

**Tabela 2 - Esquemas de pintura estudados**

<b>Esquemas de Pintura</b>	<b>Preparação de Superfície</b>	<b>Tinta de Fundo</b>	<b>Tinta Intermediária</b>	<b>Tinta de Acabamento</b>	<b>Espessura Total (µm)</b>
<b>Esquemas de Pintura com Tintas Líquidas</b>					
E5	Jateamento Abrasivo	Zn1 (80 µm)	EAE (140 µm)	PU (60 µm)	280
E6	Jateamento Abrasivo	Zn2 (70 µm)	EAE (120 µm)	PU (60 µm)	250
<b>Esquemas de Pintura com Tintas em Pó</b>					
WE1	Jateamento Abrasivo	Zn3 (90 µm)	-	AP (120 µm)	210
WE2	Fosfatização	Zn3 (80 µm)	-	AP (75 µm)	155
WE3	Jateamento Abrasivo	EB (80 µm)	-	AP (120 µm)	200

Os corpos de prova foram instalados na Estação de Corrosão Atmosférica do Cepel, localizada na Cidade Universitária – Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, apresentada na Figura 1. Esta possui uma atmosfera classificada como urbana especial, devido à presença de H<sub>2</sub>S em elevadas concentrações. Com intuito de acelerar o processo de corrosão, pulverizou-se solução de NaCl 1% (m/m) duas vezes por semana (7) ao longo de um período de 10 anos, afim estudar a durabilidade destes esquemas de pintura.



**Figura 1 - Estação de corrosão atmosférica do CEPEL.**

Ao final de 10 anos, os corpos de prova foram retirados da estação de corrosão e inspecionados. Foram avaliados parâmetros tais como gizamento, empolamento, grau de corrosão e fendimento da película seca. Após a avaliação, os corpos de prova foram adequadamente limpos e fotografados para registro do estado no qual a película se encontrava.

Foram realizados ensaios de aderência pelo método de resistência à tração, segundo a norma ASTM D 4541-09 (9), com o equipamento PosiTest AT-A<sup>®</sup>. Além dos valores de tensão de ruptura, também foi avaliada a natureza da falha de aderência, que recebeu a seguinte denominação, considerando um revestimento com duas camadas de tinta.

A = falha coesiva do substrato

A/B = falha adesiva entre o substrato e a primeira camada do revestimento

B = falha coesiva da primeira camada do revestimento

B/C = falha adesiva entre as camadas B e C do revestimento

C = falha coesiva da camada C

C/Y = falha adesiva entre a camada C e o adesivo

Y = falha coesiva do adesivo

Y/Z = falha adesiva entre o adesivo e o carretel

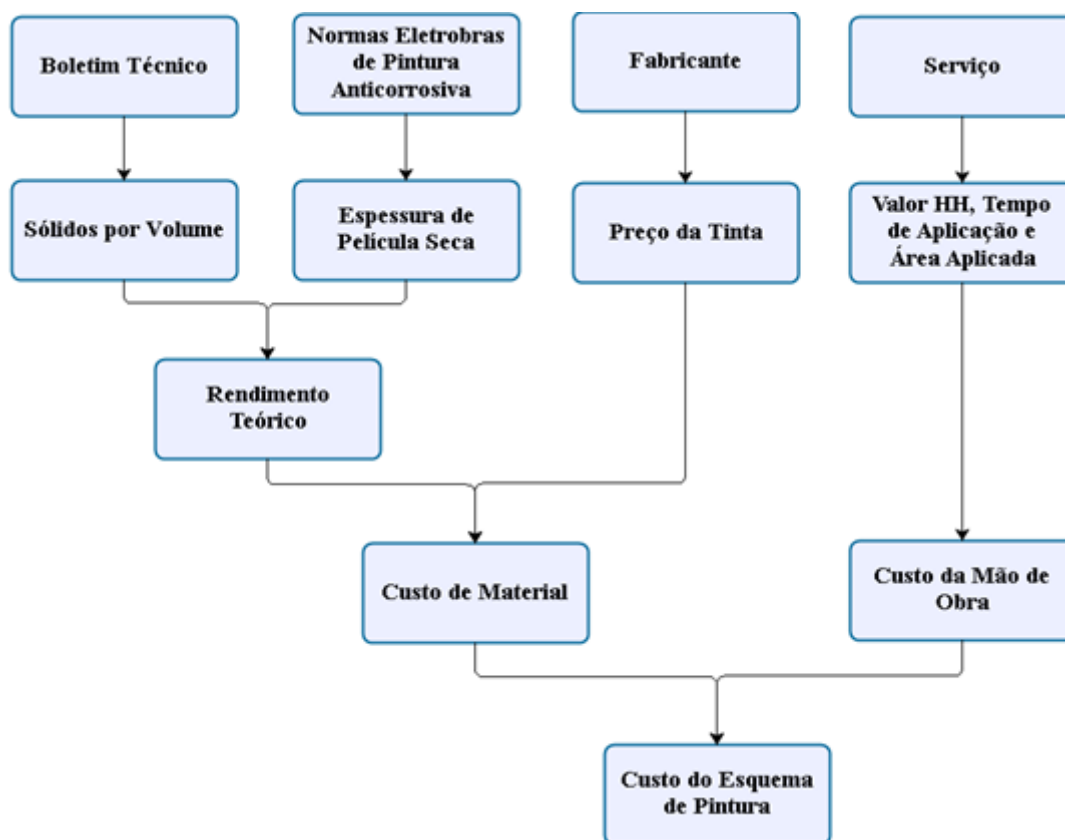
A etapa seguinte da metodologia de avaliação consistiu na remoção química do revestimento, por meio de ataque com mistura adequada de solventes, para verificação da presença ou não de corrosão no substrato. Este procedimento foi realizado em uma célula montada conforme mostra a Figura 2.



**Figura 2 - Célula para remoção química do revestimento.**

Por último, foram realizados ensaios de microscopia ótica das seções transversais de cada corpo de prova referente aos esquemas estudados. O objetivo foi verificar como, ao final de 10 anos, se encontrava a interface substrato/esquema de pintura. Estes resultados, associados aqueles de aderência por tração são indicativos do desempenho anticorrosivo dos revestimentos estudados.

Além do desempenho anticorrosivo, foi avaliado também o aspecto econômico relativo aos esquemas estudados. Para tal, foram levantados dados de custo dos esquemas de pintura estudados neste trabalho, bem como as informações contidas nos respectivos boletins técnicos de cada tinta. Através de uma ferramenta computacional de simulação e avaliação de custos de serviços de pintura, desenvolvida em sistema *Visual Basic for Applications*, foram calculados os custos associados a cada esquema estudado. Esta ferramenta foi criada a partir de um modelo matemático proposto pela equipe do laboratório de corrosão do Cepel, e utiliza-se de dados referentes a cada produto aplicado, além de informações sobre o preparo de superfície, o processo utilizado e a equipe envolvida no serviço de pintura. O diagrama apresentado na Figura 3 indica quais são os parâmetros usados no modelo matemático para simulação do custo. Além disso, também fornece a fonte a partir da qual tais parâmetros são obtidos, como por exemplo a espessura da película seca que é especificada pelas Normas Eletrobras de Pintura Anticorrosiva.



**Figura 3 – Diagrama de blocos referente aos cálculos do custo do esquema de pintura.**

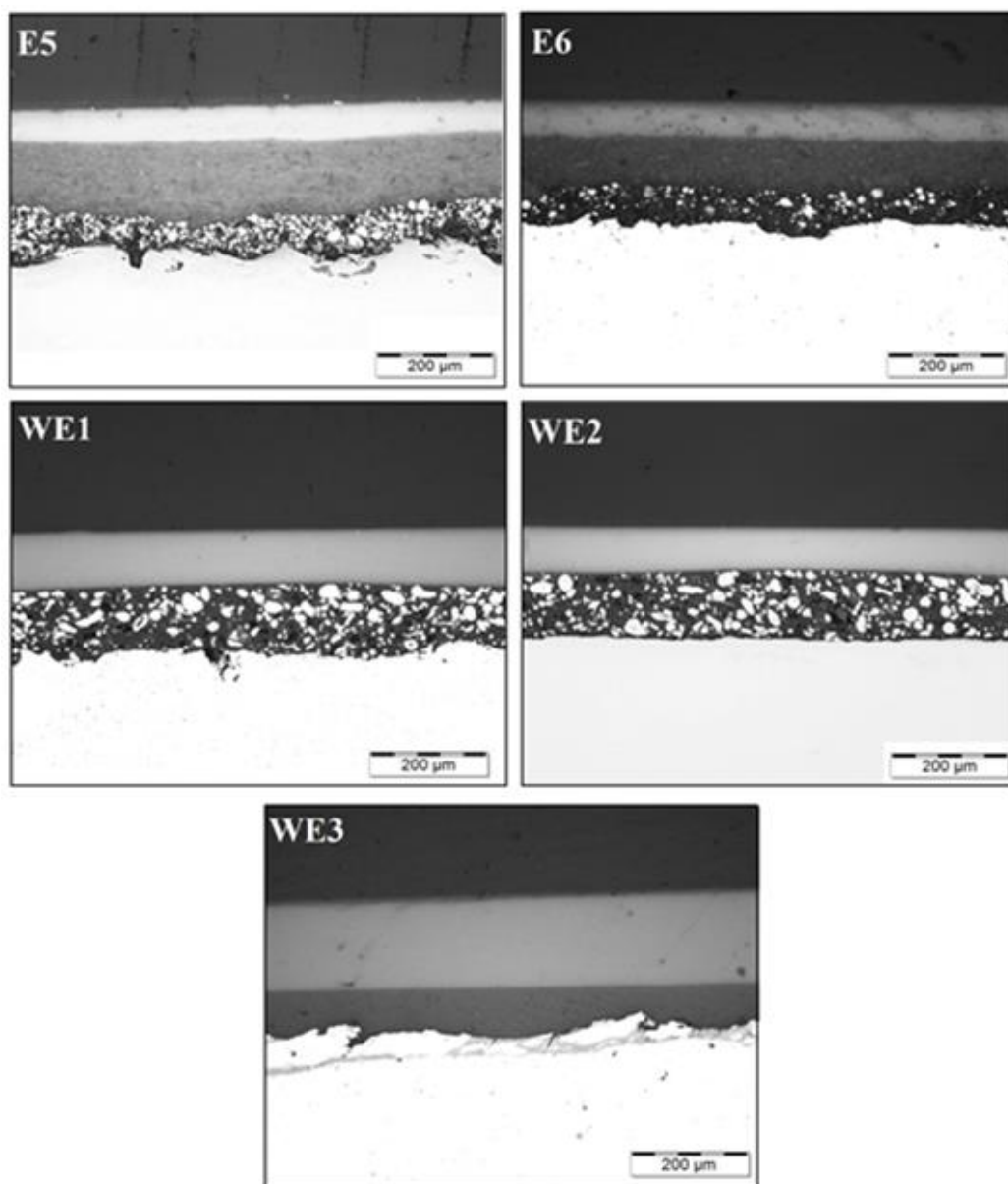
Para avaliar a relação custo-benefício dos revestimentos estudados, foram atribuídos pontos aos esquemas de pintura. Nessa análise, os parâmetros ensaiados e os custos foram pontuados e, ao final, ranqueados. Para a pontuação, atribuíram-se valores de 1 a 5, sendo 5 a pontuação máxima e 1 a pontuação mínima. Dessa forma, considerou-se como esquema de desempenho superior, em relação aos ensaios realizados, o que obteve mais pontos.

## Resultados e Discussão

Com as microscopias dos cortes transversais, apresentadas na Figura 4, foi possível destacar alguns pontos importantes a respeito dos esquemas estudados. Nesta análise, considerando um referencial de baixo para cima, a primeira “camada” das imagens registradas trata-se do substrato no qual o esquema foi aplicado, aço carbono. Acima deste, localiza-se a tinta de fundo e na sequência, intermediária e tinta de acabamento, para os esquemas com tintas líquidas (E5 e E6), e somente a tinta de acabamento, para os esquemas com tintas em pó (WE1, WE2, WE3).

Como foi mostrado na Tabela 2, o esquema WE2 foi tratado pelo método químico de fosfatização, enquanto que os esquemas restantes foram tratados com jateamento abrasivo. Esta diferença é facilmente notada ao se observar a Figura 4, na qual o substrato da micrografia referente ao esquema WE2 é mais retilíneo que os demais. Essa observação corrobora a informação de que, para a fosfatização, obteve-se um perfil de rugosidade médio bem menor (5  $\mu\text{m}$ ) em comparação com esquemas tratados por jateamento abrasivo (50  $\mu\text{m}$ ).

Pelas microscopias é possível identificar que, mesmo após 10 nos de exposição na atmosfera especificada, nenhum revestimento apresentou quaisquer defeitos ou irregularidades. Além disso, observa-se o pigmento de zinco nas tintas de fundo que o continham, caracterizado pelas partículas brilhantes. Pelo fato do pigmento ser metálico, este refletiu a luz incidente do microscópio. Aparentemente, pelas imagens, todos os esquemas apresentaram uma boa aderência ao substrato.



**Figura 4 - Micrografia do corte transversal dos corpos de prova estudados.**

A Tabela 3 mostra os resultados das avaliações dos parâmetros de qualidade. Observou-se que todos os esquemas estudados se comportaram de maneira similar, quando submetidos à exposição atmosférica. Todos os resultados foram satisfatórios, não tendo sido constatado nenhum defeito.

Os esquemas compostos por tintas em pó (WE1, WE2 e WE3) apresentaram gizamento ligeiramente menor, quando comparados com os esquemas compostos por tintas líquidas (E5 e E6). Esta pequena diferença de valores, dada pelo método Helmen, deve-se à natureza química das tintas de acabamento em pó a base de resina poliéster, que possui excelente resistência à radiação ultravioleta. Este resultado era esperado, dada a duração do ensaio de exposição atmosférica.

**Tabela 3 - Resultados da avaliação dos parâmetros de qualidade dos esquemas de pintura estudados.**

Esquema	Gizamento		Empolamento ISO 4628-2	Grau de Corrosão ISO 4628-3	Fendimento ISO 4628-4
	ISO 4628-6	Helmen (%)			
E5	3/4	68	-	-	-
E6	3/4	68	-	-	-
WE1	3/4	58	-	-	-
WE2	3/4	56	-	-	-
WE3	3/4	58	-	-	-

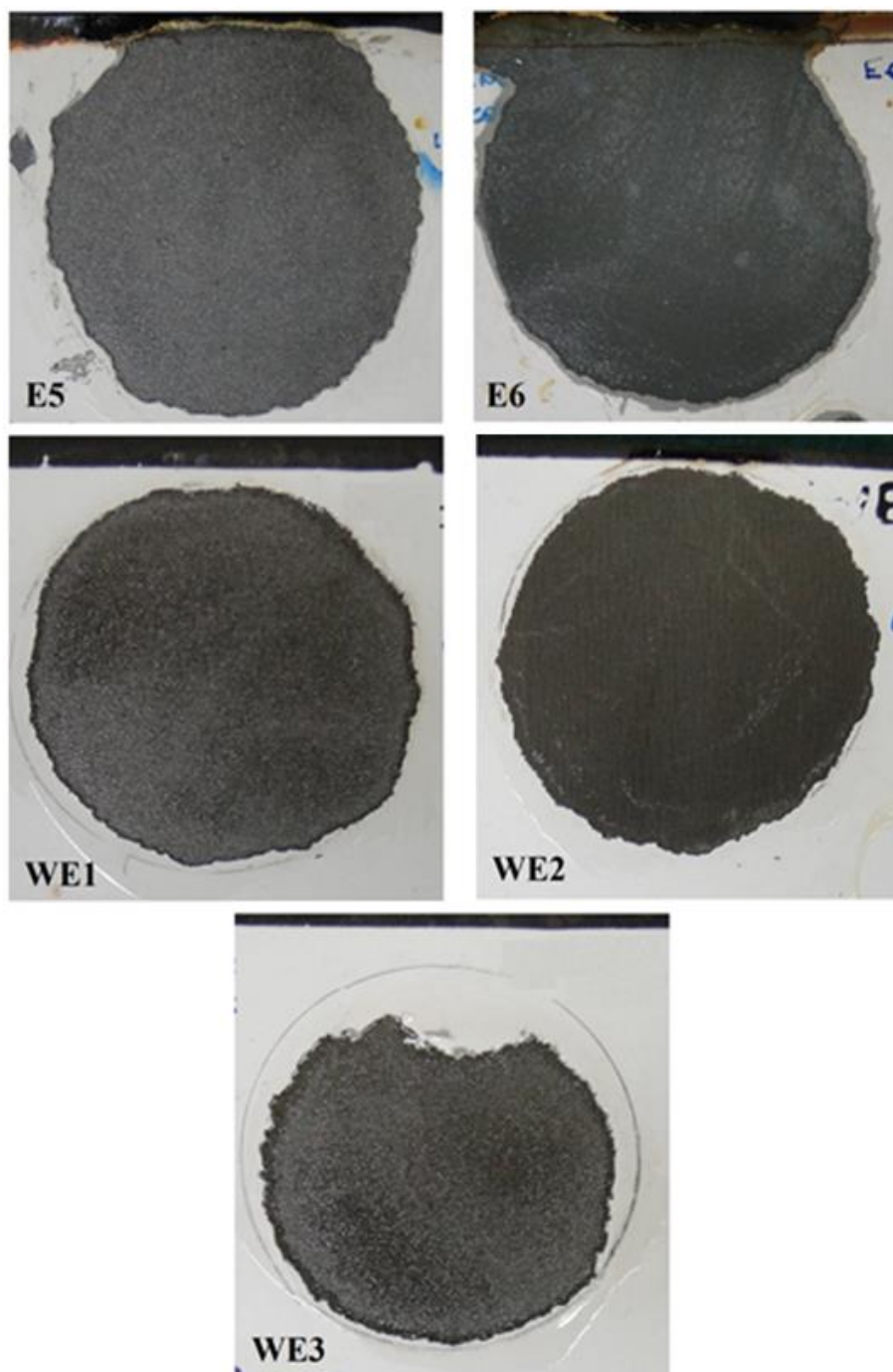
Em relação aos ensaios de aderência por tração, todos os corpos de prova mostraram resultados satisfatórios, apresentados na Tabela 4. Comparando-se os valores com aqueles determinados antes do ensaio de exposição às intempéries, para as tintas líquidas, observa-se que houve uma redução do valor da tensão de ruptura com o tempo de exposição. Entretanto, em relação à natureza da falha, manteve-se o bom desempenho sem que houvesse exposição do substrato após a remoção do carretel. Quanto ao esquema E5, percebe-se que a natureza da falha foi classificada como coesiva B, resultado esperado em função do caráter poroso de tintas ricas em zinco. Já em relação ao esquema E6, os resultados foram ainda melhores.

No caso das tintas em pó, os valores de tensão de ruptura aumentaram com o tempo de exposição. Em termos da natureza da falha, para estes esquemas, foram obtidos ótimos resultados, que estão de acordo com os elevados valores de tensão encontrados. Mesmo para os esquemas WE1 e WE2, compostos por tintas de fundo ricas em zinco, não foi constatada falha coesiva B, devido à quantidade maior de resina que esta tinta possui em relação às outras.

**Tabela 4 - Resultados dos ensaios de aderência para a condições iniciais e finais dos esquemas de pintura.**

Esquema de Pintura	Aderência Inicial		Aderência Final	
	Tensão de Ruptura (MPa)	Natureza da Falha	Tensão de Ruptura (MPa)	Natureza da Falha
E5	12	100% B	8	100% B
E6	22	100% D	15	60% B 40% C/D
WE1	23	50% C/Y 50% Y	33	100% C/Y
WE2	25	100% Y	34	100% C/Y
WE3	22	100% Y	38	100% C/Y

Quanto à remoção química dos esquemas de pintura, observou-se que os corpos de prova não apresentaram produto de corrosão sob os revestimentos. Esta constatação é coerente com os resultados apresentados acima, pois confirma os padrões de qualidade do revestimento. Na Figura 5, estão mostrados os substratos após a remoção da película seca.



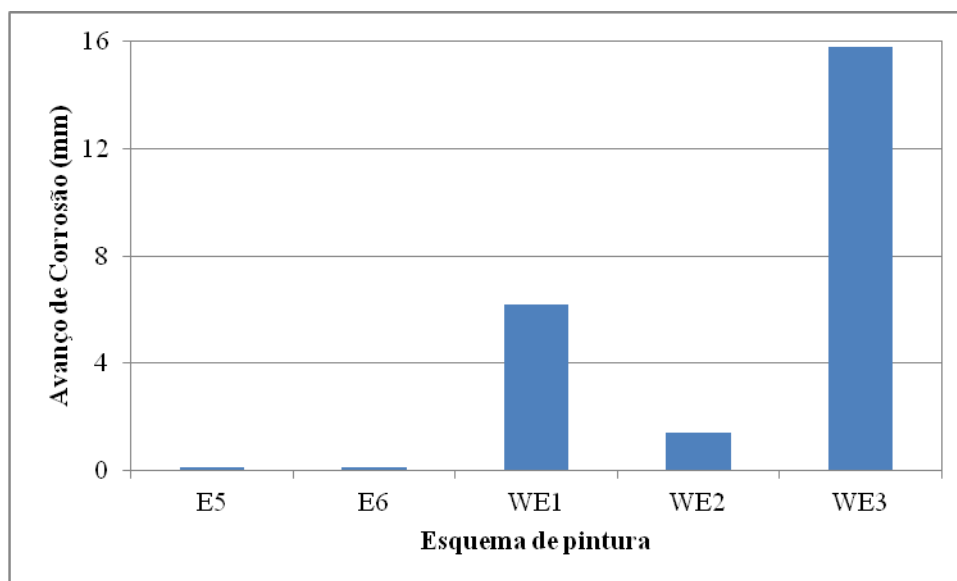
**Figura 5- Corpos de prova após remoção química do revestimento.**

Até este ponto, toda a avaliação de desempenho está baseada no fato dos revestimentos não apresentarem defeitos ou de não ter ocorrido um dano na pintura durante sua condição de serviço. Porém, caso isto seja verificado, como o estudo contemplou esquemas de pintura com

tintas de fundo pigmentadas com zinco, estas atuam segundo os princípios da proteção catódica, ampliando a durabilidade dos revestimentos.

Uma forma de avaliar o quanto a tinta de fundo pigmentada com zinco aprimora o desempenho do esquema de pintura é realizando uma incisão nos corpos de prova, para simular o dano na pintura e após o tempo de ensaio, medir o avanço de corrosão a partir da incisão, equivalente a um lado.

Para o presente trabalho, não se dispunha de corpos de prova com incisão, após 10 anos de exposição na Estação de Corrosão Atmosférica do Cepel. Porém, estes resultados foram registrados após 1 ano de exposição, exatamente nas mesmas condições descritas na metodologia e são apresentados na Figura 6.

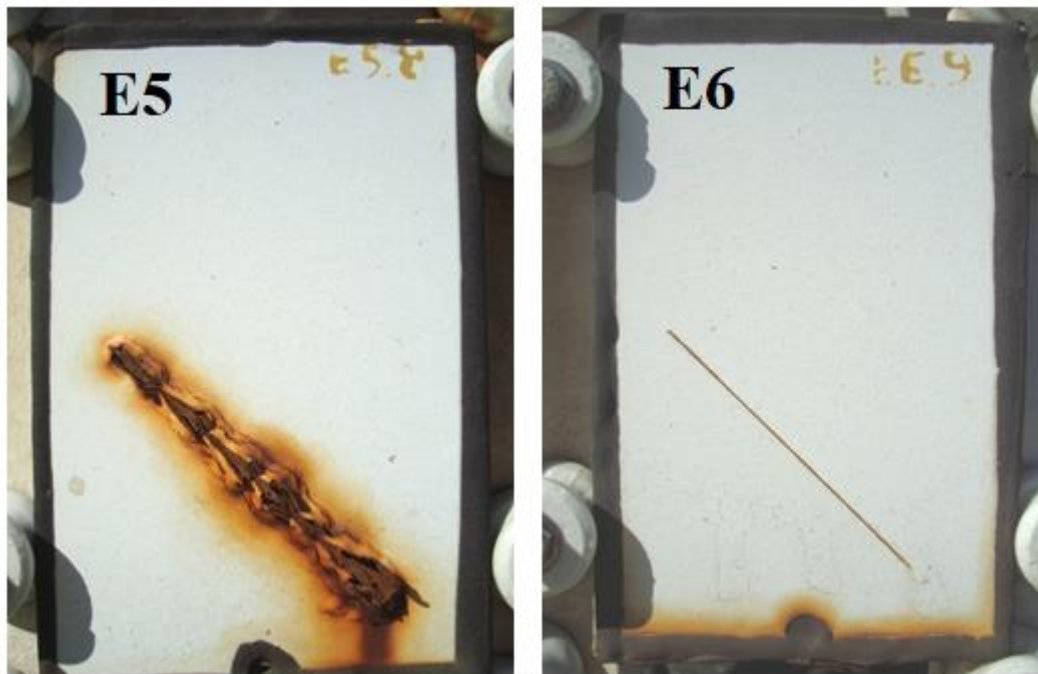


**Figura 6 – Avanço de corrosão a partir da incisão dos esquemas de pintura estudados, após 1 ano de exposição natural, com pulverização de NaCl 1%.**

As tintas pigmentadas com zinco, de fato, garantem um melhor desempenho no dano da pintura, é o que se pode comprovar pelos menores avanços de corrosão dos esquemas que possuíam este tipo de tinta, em comparação àquele que não possuía, WE3. Em projetos de pesquisa anteriores, a equipe de Corrosão do Cepel comprovou, por meio de ensaios eletroquímicos, que o desempenho das tintas de fundo pigmentadas com zinco está diretamente relacionado às suas propriedades de proteção galvânica (10). Além disso, algumas características das tintas são responsáveis pela forma como vai ser sua atuação galvânica. Citam-se, entre estas características, o teor de zinco metálico na película seca, o tipo de resina e a granulometria das partículas de zinco (11). Por isso, é que foram observadas diferenças entre os resultados de avanço de corrosão, comparando-se os esquemas com tintas líquidas (E5 e E6), com aqueles com tintas em pó (WE1 e WE2). Neste tipo de tinta, o teor de zinco metálico na película seca costuma ser mais baixo que nas tintas líquidas (11), um dos principais parâmetros de formulação que responde pelo desempenho anticorrosivo.

Comparando-se os esquemas de tintas líquidas entre si, estes foram estudados anteriormente pela equipe de Corrosão do Cepel, por 4 anos nas mesmas condições de ensaio do presente

trabalho (12). O avanço de corrosão a partir da incisão para o esquema E5 foi maior do que para o esquema E6, evidenciando que, com um maior tempo de ensaio, o esquema E6 apresenta desempenho superior que o E5. Para comprovar, a Figura 7 mostra as imagens dos corpos de prova após 4 anos de exposição natural, com a pulverização de NaCl 1%.



**Figura 7 – Imagens dos corpos de prova, após 4 anos de exposição na Estação de Corrosão Atmosférica do Cepel, com pulverização de solução de NaCl 1%.**

Assim, considerando os resultados de estudos anteriores (10-12), pode-se afirmar que, durante as condições de serviço dos esquemas de pintura investigados no presente trabalho, caso ocorram danos na pintura, o desempenho anticorrosivo mais aprimorado, em termos de avanço de corrosão, a partir da incisão, será observado com o esquema E6, seguido do esquema E5. Neste critério, os esquemas de tintas líquidas devem ter desempenho superior aos de tintas em pó. Dentre estes últimos, pelos resultados da Figura 6, indica-se como melhor desempenho aquele do esquema WE2, seguido do WE1. Um resultado interessante que aponta a fosfatização como um tratamento bastante adequado para o caso de pintura em pó. O desempenho inferior do esquema WE3 está relacionado a este apresentar um mecanismo de proteção exclusivamente por barreira.

Quanto à simulação dos custos dos esquemas de pintura, a Tabela 5 apresenta todos os resultados dos cálculos, divididos pelas etapas do processo de pintura anticorrosiva. Observa-se que os custos referentes aos revestimentos líquidos foram maiores em comparação aos custos dos revestimentos em pó. Vale salientar que, nos esquemas com tintas em pó foram aplicadas apenas 2 demãos, enquanto que naqueles contendo tintas líquidas foram aplicadas 3 demãos, o que reduz o gasto com HH (Homem-Hora). Uma vantagem do uso de revestimentos a base de tintas em pó é que sua cura é imediata, enquanto aqueles que utilizam tintas líquidas necessitam, em média, de uma semana de cura para terem condições completas de uso. Porém, as tintas em pó são usadas em peças que já vem revestidas de fábrica e não

podem ser empregadas em campo, nos serviços de manutenção das estruturas do setor elétrico.

Dentre os revestimentos a base de tintas líquidas, o esquema E6 se mostrou menos oneroso quando comparado ao esquema E5, pois a tinta de fundo aplicada no primeiro apresentou menor custo. Além disso, as demãos de tinta de fundo e intermediária do esquema E6 possuem espessuras menores, reduzindo consumo de tinta na aplicação.

Já para os revestimentos a base de tintas em pó, constata-se que o esquema com demão de tinta de fundo rica em zinco, WE1, se mostrou mais caro que o esquema WE3, de mecanismo proteção por barreira. Esta tendência é esperada devido aos altos preços das tintas ricas em zinco, em comparação com as tintas sem este pigmento. É importante citar que não foi possível obter um valor associado ao tratamento de fosfatização. Entretanto, ao se analisar os custos somente da pintura percebe-se que o esquema WE2 apresenta um custo intermediário entre WE1 e WE3. Em função de várias etapas no processo de fosfatização, além de uso de grande quantidade de reagentes químicos, estima-se que seu custo é superior ao do jateamento abrasivo seco, o que tornaria o custo completo do esquema de pintura WE2 superior ao dos WE1 e WE3.

**Tabela 5 - Custos dos esquemas de pintura estudados baseados no modelo matemático proposto pelo Cepel.**

<b>Esquema de Pintura</b>	<b>Preparo de Superfície (R\$/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Preparação das Tintas (R\$/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Aplicação das Tintas (R\$/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Cura da Tintas (R\$/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Materiais (R\$/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Total da Pintura<sup>(*)</sup> (R\$/m<sup>2</sup>)</b>
E5	33,00	7,50	8,75	-	20,31	36,56
E6	33,00	7,50	8,75	-	11,50	27,75
WE1	33,00	-	7,00	2,50	15,38	24,88
WE2	(**)	-	7,00	2,50	12,60	22,10
WE3	33,00	-	7,00	2,50	7,31	16,81

(\*) Não foi considerado no cálculo os custos da preparação de superfície. (\*\*) Não foi possível obter o custo do tratamento químico de fosfatização.

A Tabela 6 apresenta a pontuação dada a cada revestimento em função dos parâmetros avaliados e a pontuação total. Para os custos, não foi considerada a parcela devido à preparação de superfície. Observa-se que para fendimento, grau de corrosão, empolamento e corrosão sob o revestimento, todos os esquemas estudados neste trabalho obtiveram a maior pontuação. Sendo assim, são os valores de gizamento, aderência, avanço de corrosão e custo que regem a tomada de decisão neste trabalho. Fica claro que, para as condições avaliadas, os esquemas com tintas em pó são melhores em termos de desempenho, se não houver dano na pintura, quando comparados aos esquemas com tintas líquidas. Diante do dano, os esquemas de tintas líquidas atuam protegendo catodicamente o substrato, ampliando sua durabilidade. Para que os esquemas de tintas em pó, com tinta de fundo apresentem resultados de desempenho equivalentes aos de tintas líquidas, deve-se trabalhar na formulação das tintas a fim de se ter mais zinco disponível para proteger o substrato (12). Em termos de custo, o esquema WE3 apresentou a maior vantagem, devido à tinta de fundo não apresentar pigmento

de zinco. Porém, em caso de dano, apresentará o desempenho mais inferior para tempos maiores de exposição. O esquema WE2 apresentou-se como uma boa alternativa aos esquemas de tintas líquidas.

**Tabela 6 - Pontuação dos esquemas de pintura estudados**

<b>Parâmetro</b>	<b>E5</b>	<b>E6</b>	<b>WE1</b>	<b>WE2</b>	<b>WE3</b>
Fendimento	5	5	5	5	5
Grau de Corrosão	5	5	5	5	5
Empolamento	5	5	5	5	5
Gizamento	4	4	5	5	5
Aderência	4	4	5	5	5
Corrosão sob o revestimento	5	5	5	5	5
Avanço de corrosão a partir de um dano	4	5	2	3	1
Custo	1	2	3	4	5
<b>Total</b>	<b>33</b>	<b>35</b>	<b>35</b>	<b>37</b>	<b>36</b>

## Conclusões

Todos os revestimentos avaliados apresentaram excelentes resultados de performance anticorrosiva, após 10 anos de ensaio natural, conduzido de forma acelerada. Os esquemas compostos por tintas ricas em zinco podem apresentar um maior benefício no caso de haver maior tempo de exposição, sobretudo em caso de danos na pintura.

Observou-se que os ensaios de avaliação de empolamento, fendimento e grau de corrosão obtiveram resultados satisfatórios, tendo em vista que os corpos de prova estudados não apresentaram nenhum defeito na película seca. O mesmo pode se afirmar em relação à remoção química do revestimento, onde não foi verificada a formação de produto de corrosão sob os revestimentos.

Em relação aos ensaios de aderência e gizamento, constatou-se que os revestimentos compostos por tintas em pó se comportaram de maneira mais eficaz do que aqueles compostos por tintas líquidas. Além disso, também é possível observar que as tintas em pó apresentaram menores custos. Esta tendência pode ser reforçada pela maior eficiência de aplicação, uma vez que, no processo, a perda de produto é menor, e pelo fato de os esquemas em pó estudados terem sido aplicados em apenas 2 demãos, fato que reduziu os gastos com a equipe de pintura. Um outro ponto que favoreceu o uso de revestimentos em pó é o tempo de cura, uma vez que estes necessitam apenas de alguns minutos e as tintas líquidas podem levar até uma semana para estarem em condições de instalação do equipamento. Esta versatilidade torna o serviço de pintura mais dinâmico.

Quando não houve danos na pintura, após 10 anos, conclui-se que revestimentos em pó apresentaram resultados similares quando aplicados em substratos tratados por jateamento abrasivo, em comparação ao tratamento químico de fosfatização. Mas, havendo dano na pintura, a fosfatização mostrou-se um tratamento bastante adequado para a pintura em pó, onde o desempenho do esquema WE2 foi superior ao WE1, em termos de avanço de corrosão.

### Referências bibliográficas

---

- (1) Morcillo, M. Almeida, E. Fragata, F. Panossian, Z. Corrosão e Proteção de Metais nas Atmosferas de Iberoamérica. Gráficas Salué, S.A. 2002. Madrid. Espanha.
- (2) Pintura Industrial com Tintas em Pó. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-pintura-industrial-em-po-manual-portugues-br.pdf>> Acesso em: 19/02/2018.
- (3) ISO 4628-6. *Paints and varnishes – Evaluation of degradation of coatings – Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance – Part 6: Assessment of degree of chalking by tape method*. 2007
- (4) ISO 4628-2. *Paints and varnishes – Evaluation of degradation of coatings – Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance – Part 2: Assessment of degree of blistering*. 2003
- (5) ISO 4628-3. *Paints and varnishes – Evaluation of degradation of coatings – Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance – Part 3: Assessment of degree of rusting*. 2003
- (6) ISO 4628-4. *Paints and varnishes – Evaluation of degradation of coatings – Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance – Part 4: Assessment of degree of cracking*. 2003
- (7) ISO 11474. *Corrosion of metals and alloys – Corrosion tests in artificial atmosphere – Accelerated outdoor test by intermittent spraying of a salt solution (Scab test)*. 1998.
- (8) ISO 8501-1. *Preparation of steel substrates before application of paints and related products – Visual assessment of surface cleanliness*. 1988.
- (9) ASTM D4541-09. *Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers*. 2009.
- (10) F. L. Fragata; A. P. Ordine. Avaliação Anticorrosiva de Tintas de Fundo Ricas em Zinco, Monocomponente, com Resina de Poliisocianato. 2<sup>nd</sup> International Corrosion Meeting – INTERCORR 2008, Recife – PE, 2008.

- (11) A. P. Ordine; F. L. Fragata. Estudo eletroquímico de tintas de fundo pigmentadas com zinco. *Corrosão e proteção*, v. 39, p. 30-33, 2011.
- (12) A. P. Ordine, F. L. Fragata. Técnicas eletroquímicas e convencionais para avaliação do desempenho à corrosão de tintas de fundo ricas em zinco. Porto de Galinhas. 11<sup>a</sup> COTEQ – Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos, 2011.