

Tema: Corrosão

MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DE FAIXAS DE PARÂMETROS IDEAIS DE PROCESSAMENTO DE PINTURA CATAFORÉTICA*

Egualda Pereira da Silva Pimenta¹

José Geraldo Moreira²

Resumo

Visando a redução de custos e peso dos veículos, uma grande variedade de materiais, metálicos ou não, tem sido utilizada na produção de carrocerias. Cada um desses materiais possui uma tensão crítica de aplicação da tinta cataforética (tensão de ruptura) e, como a carroceria é pintada integralmente, a homogeneidade da pintura final em todas as partes representa um fator de grande relevância. Geralmente a tensão de aplicação da tinta é determinada em função do tempo disponível e não considera o tipo de tinta empregada, o que, em muitos casos, restringe o emprego de certos substratos metálicos. Por isso, o estabelecimento de janelas de processamento para a pintura dos materiais permite uma maior flexibilidade operacional. Assim, para esse estudo, foram pintados, em linha de pintura piloto, corpos de prova de aços, com e sem revestimento de zinco, utilizando-se três tipos de tintas e variando-se as tensões e os tempos para sua deposição, de modo a estabelecer uma “janela de processamento” para cada aço em função do tipo de tinta empregada. As “janelas de processamento” conferem maior flexibilidade aos processos de pintura, além de ser uma maneira conveniente de selecionar a tinta de melhor desempenho para uma determinada linha.

Palavras-chave: Pintura cataforética; Tensão de ruptura; Defeitos na pintura cataforética.

METHOD FOR DETERMINATION OF IDEAL PARAMETERS OF PROCESSING CATAPHORETIC PAINTING

Abstract

In order to reduce the costs and weight of vehicles, a great variety of materials, metallic or not, has been used in car body production. Each material has a specific critical voltage for cataphoretic paint application (rupture voltage), and taking in account that all them are painted simultaneously, it is very important achieve a homogenous final painting in the whole car. Usually, the paint application voltage is determined by the available time, and does not consider the paint's type, which, in many cases, restricts the use of certain metallic substrates. Therefore, the establishment of “processing windows” for painting dissimilar material at the same time allows more operational flexibility. In this work, samples of steels, galvanized or not, were painted in a pilot line using three types of paints and varying application voltage and time, so that it was possible to establish a “processing window” for each steel depending on the paint used. The “processing windows” provide greater flexibility to the processes of painting, besides being a convenient way to select the best paint performance for a specific line.

Keywords: Cataphoretic painting; Rupture voltage; Cataphoretic painting' defects.

¹ Engenheira Química, M.Sc, Gerência Geral de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

² Técnico em Química, Gerência Geral de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A exigência do mercado consumidor por automóveis com melhor resistência à corrosão tornou-se uma constante fonte de preocupação por parte das montadoras. Sabe-se que a corrosão em carrocerias ocorre, na maioria das vezes, na sua parte inferior e em espaços vazios e uniões. Os procedimentos para aumentar à resistência a corrosão são os mais diversos e complementares, como modificações de projeto para evitar acúmulo de eletrólitos e a formação de pilhas galvânicas, o emprego de ceras e, principalmente, o uso de aços revestidos e de pintura.

Os revestimentos das chapas de aço podem ser de vários tipos, tais como, eletrolíticos (Zn, Zn-Fe e Zn-Ni) ou por imersão a quente (Zn, Zn-Al, Zn-Fe e Al). Entre as pinturas, o padrão adotado por cerca de 98% da indústria automobilística mundial é a eletrodeposição cataforética, em razão da sua facilidade operacional, baixo custo, alto poder de penetração nas partes ocultas das peças, produtividade, ótima resistência à corrosão e, também, por não agredir o meio ambiente (tem 99% de reaproveitamento) [1,2].

O princípio fundamental da pintura cataforética é a atração de cargas elétricas opostas. Assim, a peça a ser pintada nesse processo é o catodo do circuito e é imersa em um banho de tinta com formulação especial (80 a 90% de sólidos, 1 a 3% de solventes orgânicos voláteis e água deionizada) que permite a sua polarização. Durante o processo de pintura ocorrem simultaneamente quatro fenômenos básicos da eletroquímica: eletroforese; hidrólise da água, eletro-osmose e eletrodeposição. Na eletroforese as partículas da tinta migram, sob a influência de um campo elétrico gerado por uma diferença de potencial, para a peça e nela aderem, expulsando a água num processo denominado eletro-osmose. A precipitação das partículas de tinta na peça forma a camada eletrodepositada. A hidrólise da água, ou eletrólise, é o fenômeno de reação de oxi-redução da água com a formação de hidrogênio e oxigênio nos eletrodos conforme as seguintes reações [3,4].

No anodo:

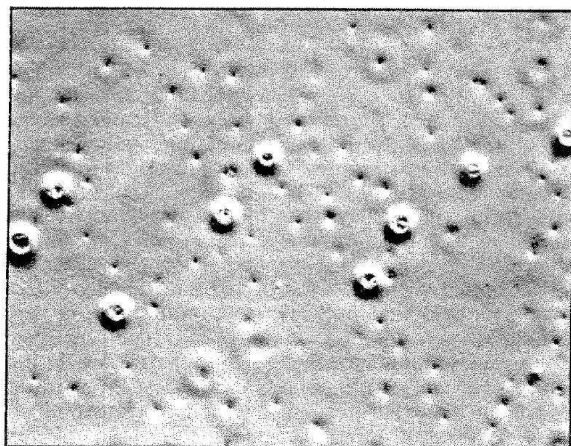


No catodo:

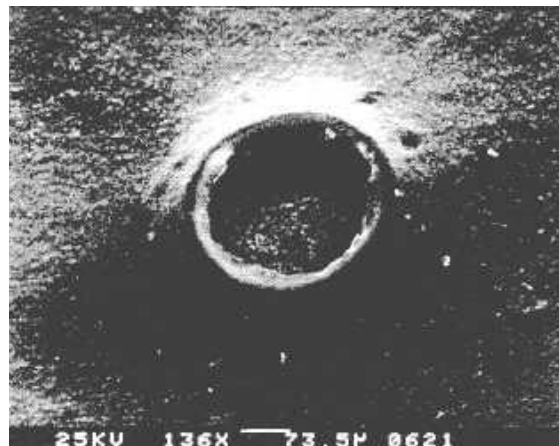


A tensão elétrica é um dos parâmetros mais importantes na pintura cataforética, pois tensões elevadas conduzirão a um aumento de espessura de película depositada e a uma melhor penetração nas partes ocultas das peças, além de permitir o aumento da velocidade da linha de produção, o que é desejado [4]. Porém, para cada tipo de tinta existe uma tensão máxima aplicável (tensão de ruptura), a partir da qual a película formada apresentará defeitos estruturais, como o mostrado na Figura 1, que irão afetar negativamente a proteção anticorrosiva. Por isso, geralmente as montadoras aplicam a tensão gradativamente, utilizando dois retificadores dentro dos tanques [5-7]. Outros fatores que devem ser considerados e que afetam o processo de pintura são a condutividade, o pH e a temperatura do banho e a distância anodo-catodo [8].

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



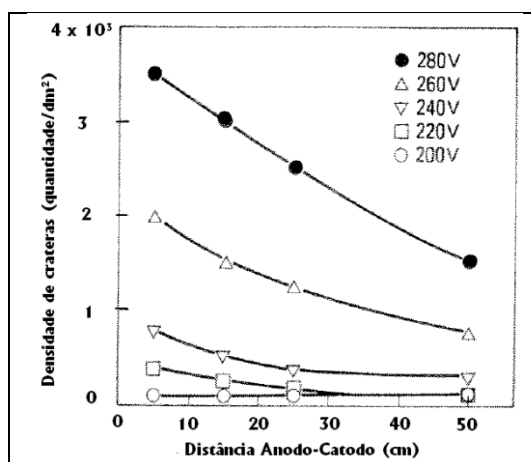
(a) Aspecto geral



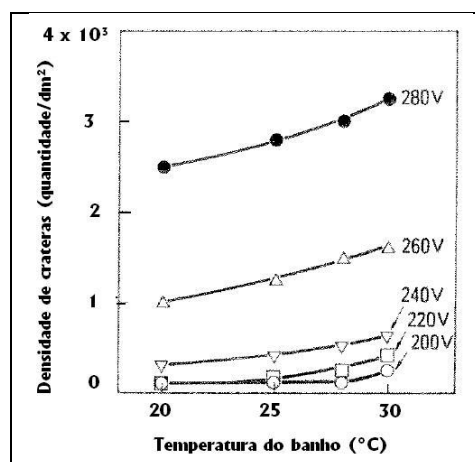
(b) Detalhe

Figura 1. Defeito cratera causado por excesso de hidrogênio [5].

Normalmente nos processos de pintura cataforética a primeira etapa é identificar a tensão de ruptura da película de tinta e, em seguida, a tensão máxima que pode ser aplicada sem que ocorram outros tipos de defeitos. Nesses experimentos é fixado o tempo mínimo e variados outros parâmetros importantes para o processo como, por exemplo, a distância anodo-catodo e a temperatura do banho, como mostrado na Figura 2 [9]. Entretanto, em uma linha industrial nem sempre é possível realizar essas alterações. Assim, abordagens dos tipos das tradicionalmente apresentadas na literatura podem não ser as mais convenientes na prática para assegurar uma película uniforme e sem defeitos como exige a indústria automobilística.



(a) Distância anodo-catodo



(b) Temperatura do banho

Figura 2. Densidade do defeito cratera em função da distância anodo-catodo, temperatura do banho da tinta e tensão [9].

Portanto, no presente trabalho foi desenvolvida uma metodologia para estabelecer “janelas de processamento de pintura cataforética” que não apenas proporcionem mais flexibilidade ao processo de pintura como também possam ser uma maneira conveniente de selecionar a tinta de melhor desempenho para um determinado processo, como mostrado esquematicamente na Figura 3. Nessa figura as condições mais restritivas para a pintura são as situadas próximas ao ponto 3, ou seja, o dispêndio de muito tempo quando se aplica baixa tensão, o que não é conveniente para a produtividade.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

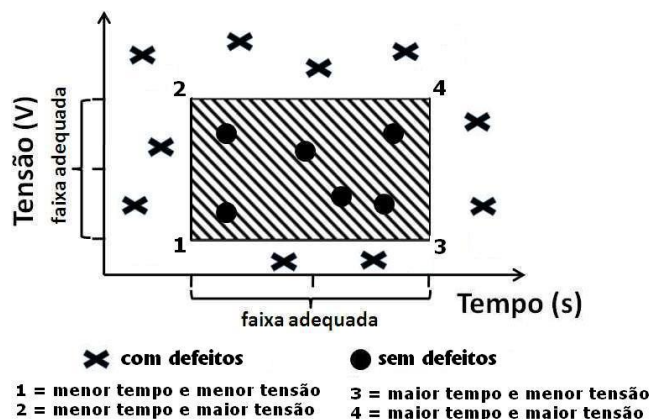


Figura 3. Modelo esquemático de uma janela de processamento.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do trabalho foram selecionadas três tintas normalmente empregadas no mercado automobilístico, cujas principais informações dos seus boletins técnicos estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Tintas utilizadas e suas respectivas condições de aplicação.

Variáveis de Processo	Tinta 1	Tinta 2	Tinta 3
Temperatura do banho (°C)	28 - 34	28 - 36	30 - 35
pH (25°C)	5,6 - 5,9	5,4 - 5,8	5,7 - 6,2
Condutividade (µS/cm 25°C)	1200 - 1600	1300 - 1900	1500 - 2000
Teor de Sólidos (%)	17 - 21	17 - 23	18 - 21
Temperatura de cura (°C)	175 ± 5	175 ± 5	175 ± 10
Tempo de cura da tinta (min)	15	15	15
Espessura (µm)	17 - 22	18 - 24	17 - 23

As tintas foram aplicadas de acordo com as condições indicadas na Tabela 1. Nas etapas de pintura foram consideradas seis variáveis de processamento comuns em uma montadora: tensão 1, tempo 1 de rampa, tempo 1 de pintura, tensão 2, tempo 2 de rampa e tempo 2 de pintura, conforme diagrama esquemático da Figura 4.

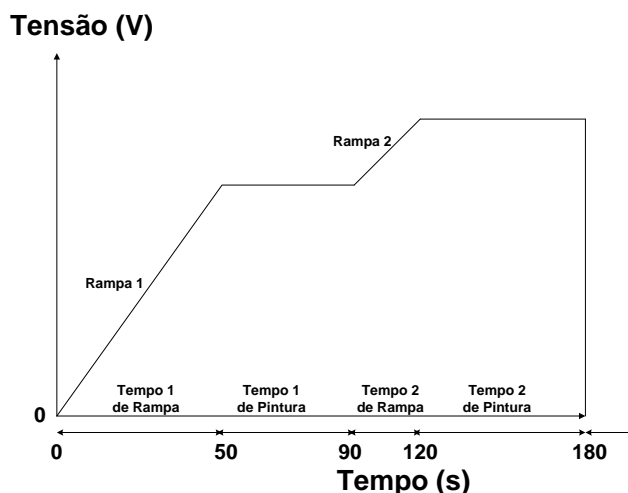


Figura 4. Diagrama esquemático ilustrando os tempos e tensões empregadas na pintura cataforética. Nesse exemplo: tempo 1 de rampa = 50 s; tempo 1 de pintura = 40 s; tempo 2 de rampa = 30 s e tempo 2 pintura = 60 s.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

Foram utilizados quatro tipos de aços nos testes: sem revestimento de zinco (CC), galvanizado eletroliticamente (EG) e galvanizados a quente GI (sem tratamento térmico da camada de zinco) e GA (com tratamento térmico da camada de zinco). Os galvanizados tinham a camada de zinco com massa de 60 g/m²/face. Todos aplicados em aços com qualidade apropriada para estampagem (*intersticial free*). Todos os corpos de prova foram desengraxados e fosfatizados conforme as etapas do diagrama esquemático apresentado da Figura 5.

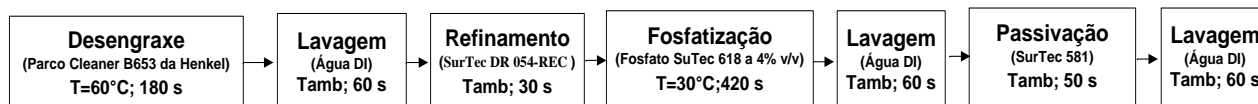


Figura 5. Diagrama esquemático do processo de pré-tratamento empregado antes da pintura.

Para o planejamento dos experimentos foi escolhida a Metodologia de Superfície de Resposta (MSR ou RSM-*Response Surface Methodology*) que é um conjunto de técnicas de planejamento e análise de experimentos usadas na modelagem matemática de respostas empregando-se o software comercial Statgraphics Plus for Windows Version 5.1.

Para a pintura dos corpos de prova foi montado um sistema utilizando-se um tanque de tinta, com capacidade para 15 litros, sob agitação e com trocador de calor, e o retificador de bancada CA/CC, da série ER-2000 μ PC, chaveado em alta frequência, microprocessado, com alimentação de 220Vca/monofásica/60Hz, com saída de 0 a 400Vcc/5A e que permite o emprego de 2 níveis de tensão de operação.

A temperatura foi controlada por meio de um trocador de calor de modo que sua variação fosse a mínima possível em relação à informada nos boletins técnicos das tintas.

Nas avaliações do pH foi utilizado um pHmetro digital que tem o eletrodo combinado de pH com junta esmerilhada (com anel de vidro que facilita a limpeza e mantém o diafragma de leitura sem impurezas) e diafragma anular para tintas. Para ajuste do pH dos banhos existia a possibilidade de se utilizar solução ácido sulfâmico 10%, contudo, não foi necessário realizar ajustes durante os testes.

A condutividade foi medida durante os testes utilizando-se um condutímetro digital composto por célula de condutividade de inox para tintas com termo acoplado.

Os sólidos são substâncias não voláteis na composição da tinta, ou seja, são os componentes da tinta que após a sua secagem não evaporam e constituem o filme seco. Para sua avaliação, foi pesado 1,0 g \pm 0,2 g do banho de tinta em um recipiente de alumínio, que foi mantido em estufa com circulação de ar por 1 hora a 130°C. Após esse tempo, o recipiente com o resíduo sólido foi pesado e a diferença entre os pesos inicial e o final dividido pelo peso inicial determinou o teor de sólidos na tinta.

Após a pintura, os corpos de prova foram colocados em estufa com recirculação forçada de ar nas temperaturas e tempos indicados nos boletins técnicos para que ocorresse a cura (polimerização) das tintas.

A espessura da película seca de tinta foi medida utilizando-se o medidor por indução magnética Fischerscope MMS (Multi Measuring System).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 do anexo são apresentadas as condições empregadas para a obtenção da janela de processamento, por exemplo, para pintura do aço não revestido

* Contribuição técnica ao 69^o Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14^o ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

utilizando a Tinta 1. Para cada um dos testes indicados nessa tabela foram pintados em média 5 corpos de prova. Nessa tabela são indicadas as condições nas quais foram obtidos resultados insatisfatórios (espessura da tinta fora da especificação e/ou ocorrência de defeitos) e os resultados satisfatórios, que foram utilizados para definir os quatro pontos da janela de processamento do aço. Nas Figuras de 6 a 8 são mostradas as “janelas de processamento” para todas as condições aços/tintas, que serão discutidas a seguir.

3.1 Pintura com a Tinta 1

Seguindo-se a premissa da indústria automotiva da busca pela aplicação de camadas de tinta em menores tempos e maiores tensões, o que significa aumento de produtividade e menor custo, pode-se observar que, quando se empregou a Tinta 1, o aço eletrolgalvanizado obteve o melhor desempenho já que a sua janela de processamento começou a ser construída com o menor tempo (120 s) e com uma tensão de até 300 V, obtendo-se a espessura da película seca de tinta na faixa especificada e sem apresentar defeitos, figura 6. Em seguida, o melhor desempenho foi apresentado para o aço não revestido (150 s e 320 V), seguido pelo galvanizado a quente GI (180 s e 275 V).

O galvanizado a quente GA foi o que exigiu maior tempo (250 s) e menor tensão (260V s) para aplicação da camada de tinta, Figura 6. Observa-se que esse aço ao ser pintado com a Tinta 1 exige que o tempo seja mais do que o dobro do exigido pelo aço eletrolgalvanizado e a tensão a menor entre as empregadas. Esse resultado mostra que a Tinta 1 não é adequada para uma montadora que emprega diferentes tipos de aços na carroceria de seus automóveis.

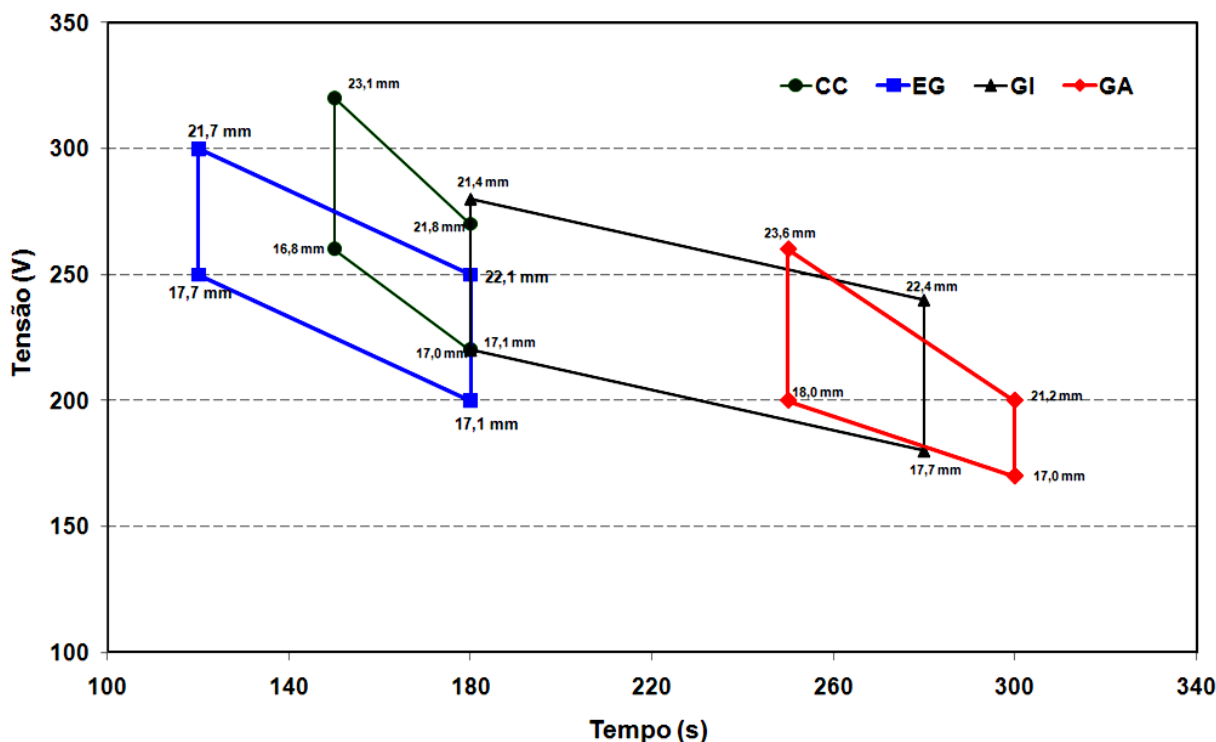


Figura 6. Janela de processamento para os aços quando pintados com a Tinta 1.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

3.2 Pintura com a Tinta 2

O resultado obtido ao se aplicar a Tinta 2 foi completamente diferente do obtido para a Tinta 1. Nesse caso, o aço que apresentou as condições mais restritivas para sua pintura foi o eletro galvanizado (tempo de 110 s e tensão de 280 V), Figura 7.

Para a pintura do aço não revestido foi empregado o menor tempo (80 s) e tensão mais elevada (320 V), seguido pelo aço galvanizado a quente GI (100 s e 280 V) e diferentemente do observado quando de utilizou a Tinta 1, o galvanizado a quente GA apresentou comportamento em relação a pintura muito próximo dos demais aços (110 s e 260 V), Figura 7.

Por esse resultado pode ser visto que as características intrínsecas das Tintas 1 e 2 são completamente diferentes.

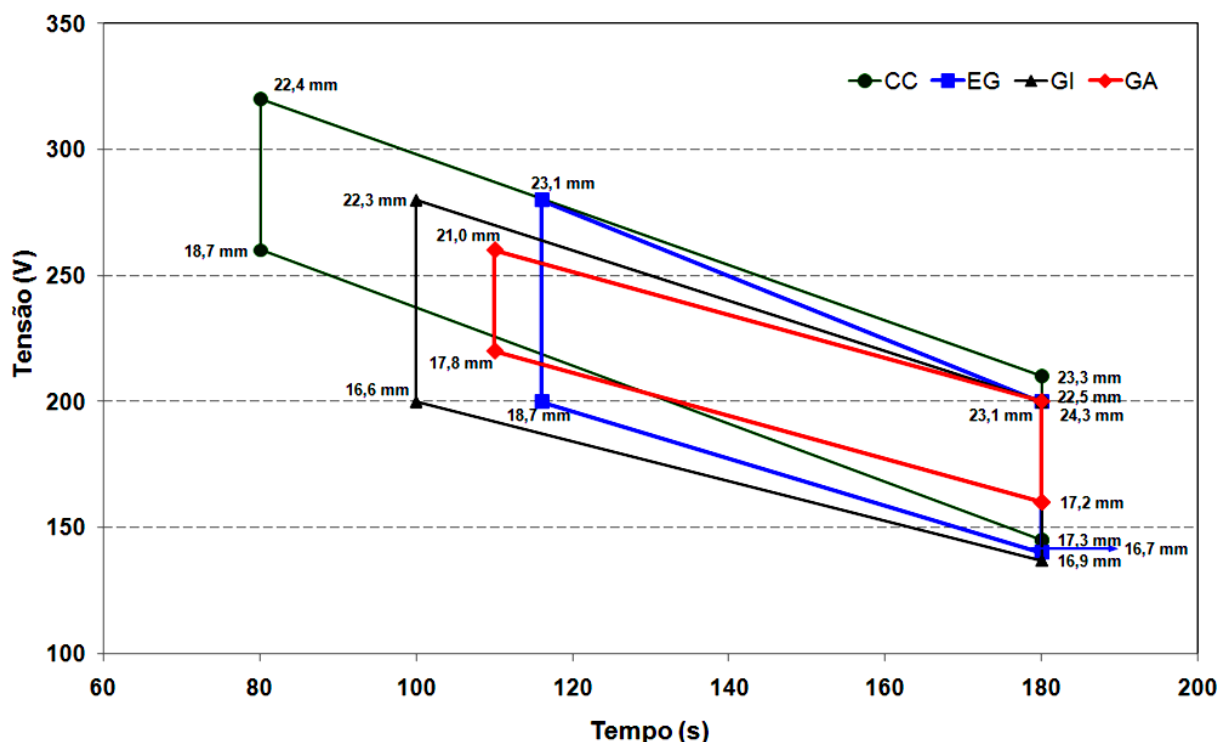


Figura 7. Janela de processamento para os aços quando pintados com a Tinta 2.

3.3 Pintura com a Tinta 3

Para a pintura do aço não revestido foi empregado o menor tempo (60 s) e tensão mais elevada (320 V), seguido pelo aço galvanizado a quente GI (80 s e 280 V), o galvanizado a quente GA apresentou comportamento em relação a pintura muito próximo dos demais aços (90 s e 260 V), Figura 8.

Foi observado que, de um modo geral, o comportamento para todos os aços quando as Tintas 2 e 3 foram utilizadas foi muito semelhante. Contudo, a Tinta 3, dentre as tintas analisadas, apresentou a menor diferença (30 s) entre os tempos para pintar o aço com melhor desempenho (não revestido, 60 s) para o de pior desempenho (galvanizado a quente GA, 90 s). Isso demonstra que com uma tinta adequada é possível pintar aços diferentes sem afetar a qualidade da pintura e a produtividade da linha.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

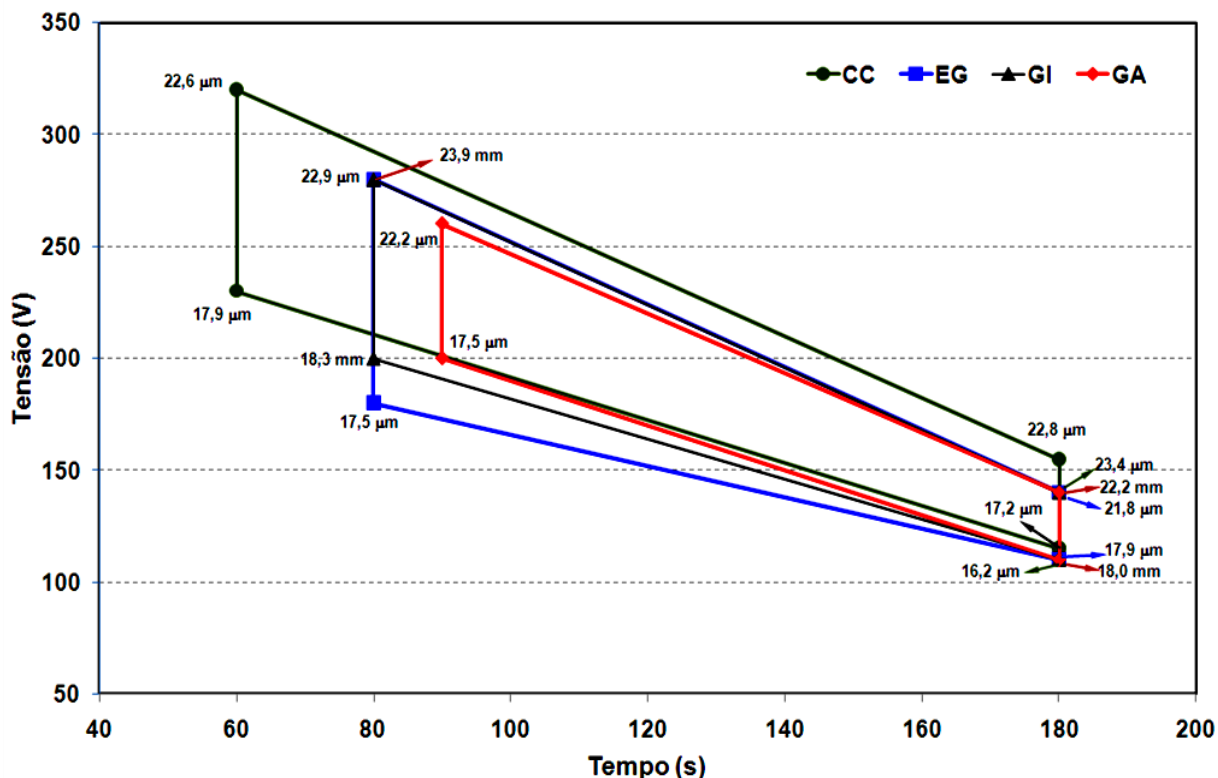


Figura 8. Janela de processamento para os aços quando pintados com a Tinta 3.

4 CONCLUSÃO

Nesse trabalho foi estabelecida uma metodologia, em laboratório, para a obtenção de “janelas de processamento” para a pintura em escala industrial de aços, galvanizados ou não. As “janelas de processamento” conferem maior flexibilidade aos processos de pintura, permitindo ajustes dos parâmetros operacionais às necessidades momentâneas da linha. As “janelas de processamento” também são uma maneira conveniente de selecionar a tinta de melhor desempenho para uma determinada linha de pintura, pois possibilitam a escolha da tinta com maior “janela de processamento”, o que resulta na economia de tempo e de custos que seriam despendidos em testes em escala industrial.

REFERÊNCIAS

- 1 Montagnoli V. Filtração em Linhas de Pintura por Eletrodeposição. Revista Meio Filtrante. 2005;nov.-dez.(17) [acesso 21 jan. 2009]. Disponível em: <<http://www.meiofiltrante.com.br>>.
- 2 Oravitz C. Electrocoating - A Guidebook for Finishers. 1ª edição. The Electrocoat Association;2002.
- 3 Oyabu Y, Furuno N, Yoji YH, Omori H. Electrodeposition coating process for automobile bodies. Transactions ISIJ. 1983;23(11):994-1008.
- 4 Cabral AM, Almeida E, Marques CC. Aspectos Fundamentais da Pintura Eletroforética. Corrosão e Proteção de Materiais. 1989;8(1):12-28.
- 5 Schoff CK, Chen H-J. Cationic electrodeposition primers over zinc coated steel. Pat 1: Effect of voltage and substrates on coating quality; 2007. p.185-192.
- 6 Hart RG. Factors Influencing Cathodic E-Coat Primer Cratering on Zinc-Rich Surfaces. Society of Automotive Engineers-SAE, Seção 2. 1986. p.262-267.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

- 7 Mantagne JM, Houziel J. Pinholing mechanisms during cathoretic painting of galvanized steel sheet. In: Proceedings of the 4 International Conference on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel Sheet (GALVATECH'98); 1998; Chiba, Japan. The Iron and Steel Institute of Japan; 1998. p.697-702.
- 8 Brewer GEF, Hamilton CC, Honsch ME. The influence of certain parameters on throwing power. Journal of paint technology. 1969;41(529).
- 9 Kitayama M, Azami T, Miura N, Ogasawara T. Cratering in electrodeposition coating of cationic paint on galvanized steel sheet. Trans. Iron Steel Inst. Jpn. 1984;24(9):742-750.

ANEXO

Tabela 1. Condições de Aplicação da Tinta 1 no Aço Não Revestido

Teste	Tensão 1 (V)	Rampa 1 (s)	Tempo 1 (s)	Tensão 2 (V)	Rampa 2 (s)	Tempo 2 (s)	Espessura da tinta (µm)	Conforme? [1]
1	190	20	15	210	5	140	15,4	Não
2	190	20	15	240	10	140	16,9	Não
3	190	20	15	240	10	140	16,9	Não
4	190	40	15	210	10	260	26,7	Não
5	190	40	15	210	10	260	26,7	Não
6	190	40	15	210	10	190	27,9	Não
7	190	40	15	210	10	115	17,0	ponto 3
8	190	40	15	210	10	115	16,9	ponto 3
9	190	20	15	210	10	140	19,8	Não
10	245	50	15	270	10	105	17,5	Não
11	245	50	15	270	10	245	32,6	Não
12	245	50	15	270	10	175	28,9	Não
13	245	50	15	270	10	105	23,4	ponto 4
14	245	50	15	270	10	105	20,2	ponto 4
15	260	25	15	320	12	30	13,7	Não
16	320	60	15	340	10	50	18,7	Não
17	320	60	15	340	10	50	19,0	Não
18	320	60	15	340	10	130	32,1	Não
19	320	60	15	340	10	130	31,8	Não
20	320	60	15	340	10	65	28,3	Não
21	320	60	5	340	5	65	26,5	Não
22	300	60	15	320	10	65	22,5	ponto 2
23	300	60	15	320	10	65	23,7	ponto 2
24	245	25	15	270	5	36	12,1	Não
25	245	50	15	270	10	65	13,6	Não
26	245	50	15	270	10	65	14,2	Não
27	260	50	15	270	10	143	28,3	Não
28	260	50	15	270	10	75	22,9	Não
29	245	50	15	260	10	75	16,9	ponto 1
30	245	50	15	260	10	75	16,6	ponto 1

Obs. Os pontos em negrito nessa tabela foram aqueles utilizados para construção da janela de processamento do aço não revestido quando utilizou-se a Tinta 1 [1]. Conforme significa sem ruptura, sem defeitos estruturais e com a espessura da película seca de tinta de acordo com o seu boletim técnico.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.