

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO DE CHAPAS DE AÇO DESTINADAS À INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA COM O USO DA TÉCNICA SPOTFACE

Alberto Nei Carvalho Costa ¹

José Carlos dos Santos ²

José Eduardo Ribeiro de Carvalho ³

Neilor da Silva Oliveira ⁴

Thiago de Souza Martins ⁵

Resumo

Com a crescente competitividade entre os diferentes fabricantes de automóveis torna-se cada vez mais necessário às empresas desenvolverem projetos inovadores de carroceria, objetivando a redução de peso e custo. Outro fator que deve ser considerado é a durabilidade da carroceria que é função da resistência à corrosão dos materiais empregados. Esta última característica tem conduzido as montadoras à realização de trabalhos conjuntos com os seus fornecedores, visando sempre a seleção mais apropriada dos materiais. O resultado desse trabalho leva sempre à necessidade de utilização de diferentes tipos de aço, revestidos com zinco puro ou ligas de zinco. Neste contexto, o desafio em geral enfrentado pelas montadoras é o tempo necessário para seleção e aprovação de um material diante das diferentes alternativas possíveis. Este trabalho teve como objetivo a realização de um estudo de resistência à corrosão de vários materiais destinados à fabricação de carrocerias, utilizando a técnica denominada *spotface*, que tem como principal vantagem a redução do tempo necessário para uma avaliação comparativa entre diferentes materiais, quando testados em ensaios acelerados ou de campo, sendo, portanto, capaz de fornecer resultados em menor tempo, quando comparada à técnica tradicionalmente utilizada, *scribe*. Foi utilizado ensaio acelerado de corrosão, realizado conforme procedimentos recomendados pela General Motors do Brasil.

Palavras-chave: Corrosão; *Spotface*; Galvanizado.

EVALUATION OF CORROSION RESISTANCE OF STEEL SHEETS FOR AUTOMOTIVE INDUSTRY WITH THE USE OF THE SPOTFACE TECHNIQUE

Abstract

Innovation, leading to weight and cost reduction, is a key word concerning the design of steel auto body for auto makers that aim to keep and improve their market share worldwide. On the other hand, auto body life, which is related to the corrosion resistance of the materials employed, should always be considered. The latter has led the auto makers to team up with suppliers to find the best solutions concerning the materials selection. The end result always points towards different sets of steels either zinc-coated or zinc alloyed-coated. Taking all these aspects into consideration, the overall challenge the auto makers face is to mitigate the time required for selection and narrow down the options available. This paper studies the corrosion resistance of several materials applied on steel auto bodies using the technique named *spotface*, which main advantage is reducing the time required by the traditional *scribe* to evaluate and compare different materials, when they are submitted either to accelerated or field corrosion testing. Concerning the accelerated corrosion testing, they were performed according to the General Motors do Brasil's requirements.

Key words: Corrosion; *Spotface*; Galvanized.

¹Engenheiro Químico, M.Sc., Engenheiro de desenvolvimento Sênior, Centro de Pesquisas – CSN, Rod. BR 393, Km 5001, s/n, Vila Santa Cecília, Cep 27260-390, Volta Redonda, RJ, Brasil. E-mail: alberto.costa@csn.com.br

²Engenheiro de Materiais, M.Sc., Diretor da empresa Avante, Rua Conselheiro Justino 1087, Cep 09070-570, Santo Andre, SP, Brasil. E-mail: carlito.bergamo@avante.ind.br

³Engenheiro Metalúrgico, M.Sc., Gerente de Desenvolvimento de produtos, Centro de Pesquisas – CSN, Rod. BR 393, Km 5001, s/n, Vila Santa Cecília, Cep 27260-390, Volta Redonda, RJ, Brasil. E-mail: joseeduardo@csn.com.br

⁴Técnico Químico, Técnico de desenvolvimento, Centro de Pesquisas – CSN, Rod. BR 393, Km 5001, s/n, Vila Santa Cecília, Cep 27260-390, Volta Redonda, RJ, Brasil. E-mail: neilor.oliveira@csn.com.br

⁵Técnico Químico, Técnico de Laboratório, Centro de Pesquisas – CSN, Rod. BR 393, Km 5001, s/n, Vila Santa Cecília, Cep 27260-390, Volta Redonda, RJ, Brasil. E-mail: thiago.smartins@csn.com.br

I INTRODUÇÃO

A melhoria das propriedades de resistência à corrosão das chapas de aço carbono zincadas depende do entendimento dos mecanismos de corrosão dos produtos revestidos e também do seu controle. Porém, essa melhoria só poderá ser quantificada, se for monitorada por métodos confiáveis de avaliação da resistência à corrosão. Na maioria das vezes, deseja-se saber se um novo material apresenta melhor desempenho contra a corrosão do que algum material já conhecido, ou seja, a avaliação da resistência à corrosão é puramente comparativa.

A corrosão das chapas de aço zincadas e pintadas ocorre no substrato e sob o filme do revestimento orgânico (tinta), e se processa em dois estágios, denominados incubação e propagação.⁽¹⁾ Durante o estágio de incubação, nenhuma deterioração ocorre na pintura, ficando o efeito da corrosão confinado à região defeituosa, ou seja, em alguma região do substrato exposta por dano à atmosfera corrosiva, onde o zinco se comporta como anodo protegendo o substrato. A transição do estágio de incubação para a propagação, em ambientes atmosféricos, é acompanhada do aparecimento do produto de corrosão do ferro, “ferrugem vermelha”. Durante o estágio de propagação, ocorre corrosão galvânica entre o zinco, que funciona como anodo, e a ferrugem vermelha, que funciona como catodo. O produto da corrosão do zinco possui volume específico maior que os metais puros, provocando danos mecânicos à pintura. A resistência à corrosão das chapas de aço carbono zincadas e pintadas está associada à velocidade de propagação da corrosão sob o filme do revestimento orgânico.

Os ensaios de avaliação da resistência à corrosão de produtos revestidos consistem na danificação de uma região da superfície a ser ensaiada, e posterior avaliação da propagação da corrosão sob o filme do revestimento orgânico, em ambientes atmosféricos normais (ensaio de campo) ou em ambientes específicos (ensaio acelerado). A técnica de danificação mais largamente utilizada é a deno-

minada *scribe*, que consiste em riscar a superfície do corpo de prova, expondo parte do substrato e revestimento metálico ao meio corrosivo, para posterior avaliação da velocidade de propagação da corrosão sob o filme de tinta. Nessa técnica, como a região danificada é pequena, o início da corrosão sob o filme de revestimento é retardado por certo período de tempo, correspondente ao estágio de incubação, caracterizado pela proteção catódica do revestimento de zinco. Jordan, Franks e Kallend⁽¹⁾ propuseram uma nova técnica de danificação do revestimento denominada *spotface*, que consiste na remoção do revestimento em uma área circular com 13 mm de diâmetro, de modo a inibir a proteção catódica do revestimento de zinco ao metal base, em consequência do aumento da relação área catódica/área anódica, reduzindo significativamente o período de tempo do estágio de incubação.

Com o propósito de avaliar a possibilidade da redução de tempo de ensaio para avaliação da resistência à corrosão das chapas zincadas e pintadas, este trabalho propõe-se a estudar o comportamento da resistência à corrosão de quatro materiais destinados à fabricação de carrocerias, utilizando-se a técnica *spotface*, de forma comparativa à técnica *scribe*, tradicionalmente utilizada.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Informações sobre a utilização da técnica *spotface* como alternativa à tradicionalmente utilizada denominada *scribe* já foram publicadas na literatura por diversos autores.

Dentre esses, destaca-se o trabalho de Jordan, Franks e Kallend⁽¹⁾ que realizaram ensaios em 14 materiais diferentes, todos com o mesmo revestimento orgânico, utilizando no mesmo corpo de prova as técnicas de danificação *scribe* e *spotface*. Os corpos de prova (CP) danificados foram expostos ao meio corrosivo em diferentes tempos. A Figura 1 apresenta o desenho esquemático do corpo de prova e da seção transversal da danificação do revestimento pelas técnicas *spotface* e *scribe*.

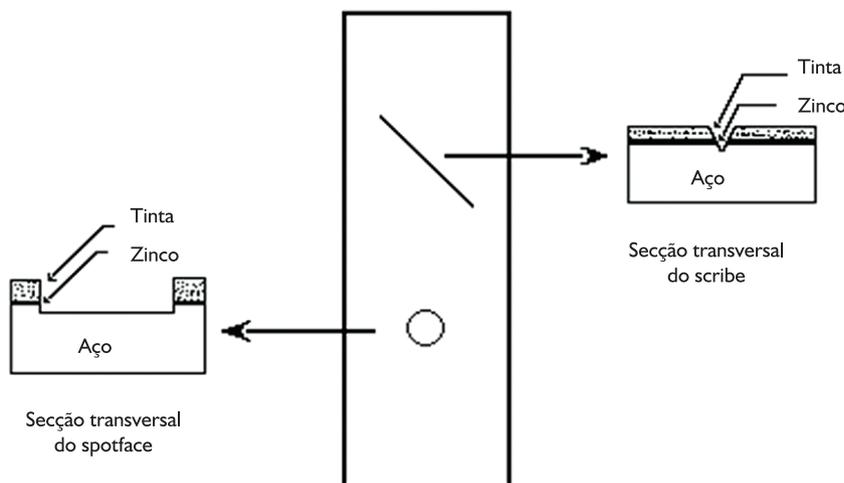


Figura 1. Desenho esquemático da seção transversal dos tipos de danificação do revestimento.⁽¹⁾

Os corpos de prova danificados foram expostos a uma atmosfera industrial e retirados para avaliação da propagação da corrosão de seis em seis meses, até um total de 36 meses. Os corpos de prova (CP) foram posicionados em *racks* de cerâmicas eletricamente isolantes com a face inclinada de 45° em relação à horizontal. Sobre a superfície de cada corpo de prova foram aspergidos 20 mL de uma solução de cloreto de sódio 5% p/v, duas vezes por semana, à temperatura ambiente. Durante o ensaio, foi observada a presença de ferrugem vermelha no centro do *spotface* com apenas um dia de exposição. Essa ferrugem espalhava-se por todo círculo do *spotface* em apenas uma semana, enquanto que não foi observada a presença de ferrugem vermelha após duas semanas no risco do método *scribe*. Jordan, Franks e Kallend⁽¹⁾ concluem que, após cada etapa de seis meses, em que foi medido o avanço da corrosão em cada material, observou-se que a técnica *spotface* reduz drasticamente o tempo de incubação, acelerando o aparecimento de ferrugem vermelha e reduzindo, portanto, o tempo total de ensaio.

Cabe salientar que a técnica de danificação da pintura *spotface* só trará benefícios se o revestimento metálico for de sacrifício, pois, não havendo ação de sacrifício, não haverá tempo de incubação, ou seja, a ferrugem vermelha aparecerá em curtos períodos de exposição.

Carneiro,⁽²⁾ continuando o trabalho de Jordan, Franks e Kallend,⁽¹⁾ fez um estudo comparativo entre as técnicas *scribe* e *spotface* aplicado a um ensaio acelerado de corrosão utilizado na indústria automobilística denominado *scab corrosion test*. Em seu trabalho, verifica que, utilizando-se o ensaio acelerado, a técnica *spotface* reduz o tempo de análise em torno de 2,5 vezes quando comparada com a técnica *scribe*. Carneiro⁽²⁾ sugere também a realização do estudo de uma nova metodologia de medida do avanço da corrosão que permitisse uma maior precisão dos resultados, pois o método de medida linear utilizado possui uma grande margem de erro. Sugeriu a utilização de um número maior de corpos de prova para cada etapa do ensaio acelerado, com o objetivo de reduzir as margens de erros dos resultados.

Em trabalho posterior, Costa⁽³⁾ utiliza três corpos de prova para cada retirada do ensaio por material, e adota a metodologia da medida do avanço da corrosão através do método da área corroída sob o revestimento de tinta. Compara os dois métodos de medida e verifica que o método de medida da área corroída apresenta maior precisão, diminuindo bastante o erro causado pela imprecisão do método de medida linear que consiste em medir aleatoriamente alguns pontos da região corroída e efetuar sua média como medida do avanço da corrosão.

No presente trabalho, empregam-se as duas técnicas de danificações *scribe* e *spotface*, utilizando-se o ensaio acelerado de corrosão *scab corrosion test*. Foi realizado, também, um monitoramento dos parâmetros que

pudessem influenciar nos resultados finais da medida do avanço da corrosão, tais como: massa por unidade de área do revestimento metálico e aderência da camada de tinta ao substrato metálico, com o objetivo de validar a metodologia *spotface* como técnica alternativa à técnica *scribe*.

3 MATERIAIS UTILIZADOS E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

3.1 Materiais Utilizados

Neste trabalho são avaliados quatro substratos comercialmente disponíveis. A Tabela 1 apresenta os materiais testados, com as espessuras e tipos das camadas de revestimentos utilizadas.

Todos os materiais foram cortados nas dimensões de 300 mm × 1.000 mm e pintados nas linhas de pintura da GMB, seguindo todas as etapas de pré-tratamento e pintura do processo normal de produção. A Tabela 2 apresenta os tipos de pré-tratamentos utilizados em cada linha de pintura.

Antes da realização dos ensaios, foi efetuada a proteção de bordas dos corpos de prova com tinta epoxi, visando obter maior resistência na região de contato entre as bordas e os fixadores dos ensaios acelerados. Na realização de danos nos corpos de prova foram utilizadas as técnicas *scribe*, que consiste em realizar um dano sob a forma de risco, e a técnica *spotface*, que consiste em realizar um dano em formato circular, expondo o aço base ao ambiente corrosivo.

Tabela 1. Materiais utilizados e os respectivos pesos de revestimento metálico

Materiais utilizados	Peso de revestimento nominal (g/m ²)	
	Face Superior	Face inferior
Revestimento Zn-Fe	50	50
Aço zincado por imersão a quente	50	50
Aço eletrozincado (duas faces)	50	50
Aço eletrozincado (uma face)	40	0

Tabela 2. Linhas de pintura com o respectivo sistema de pré-tratamento

Linha de pintura	Pré-tratamento
Linha de pintura 1	Fosfato tricatiónico
Linha de pintura 2	Fosfato tricatiónico
Linha de pintura 3	nanocerâmico

3.2 Ensaios Realizados

3.2.1 Ensaio de aderência do sistema de pintura

O ensaio de aderência sobre os substratos metálicos foi realizado conforme prescreve a norma ABNT 985, empregando o método da grade. Os resultados de aderência do sistema de pintura são apresentados para as condições de recém-pintados.

A Tabela 3 apresenta o critério para atribuição de notas representativas do desempenho do material, segundo a norma do ensaio de aderência.

3.2.2 Ensaio cíclico de corrosão – scab corrosion test

Como ensaio cíclico de corrosão, utilizou-se o ensaio *scab corrosion test*, que consiste em expor os materiais a vários ciclos em meios agressivos diferentes. Cada ciclo tem a duração de uma semana e é subdividido em cinco etapas. O objetivo é avaliar a resistência à corrosão do material pintado, resultando na perda de adesão da tinta devido ao avanço da corrosão sob o revestimento orgânico.

Para a realização deste trabalho, as amostras foram ensaiadas durante oito ciclos (oito semanas), utilizando-se a câmara de umidade e temperatura controlada.

No presente trabalho, após a retirada dos corpos de prova do ensaio acelerado de corrosão, os mesmos foram lavados em água corrente, para retirar os resíduos provenientes do ensaio. Em seguida, os revestimentos

orgânicos não aderidos devido ao processo corrosivo bem como os produtos de corrosão foram removidos com ar comprimido. O ar comprimido foi passado radialmente ao dano *spotface*. Após este procedimento, limpam-se os corpos de prova com algodão úmido com álcool, e aplicou-se uma fita adesiva sobre os danos. Após 15 minutos, retiraram-se as fitas adesivas em movimentos contínuos para a remoção do resto da tinta que, porventura, ainda estivesse aderida. Por fim, mediu-se o avanço médio da corrosão em cada corpo de prova.

4 RESULTADOS

4.1 Ensaio de Aderência do Sistema de Pintura

A Figura 2 apresenta as imagens dos materiais analisados após ensaio de aderência conforme prescreve a norma NBR 11003.⁽⁴⁾

Tabela 3. Critério de avaliação da aderência do sistema de pintura ao substrato, segundo a norma NBR 11003⁽⁴⁾

Valores	Descrição
0	Sem nenhuma região avaliada com destacamento.
1	5% da região avaliada com destacamento.
2	15% da região avaliada com destacamento.
3	35% da região avaliada com destacamento.
4	65% da região avaliada com destacamento.
5	>65% da região avaliada com destacamento.

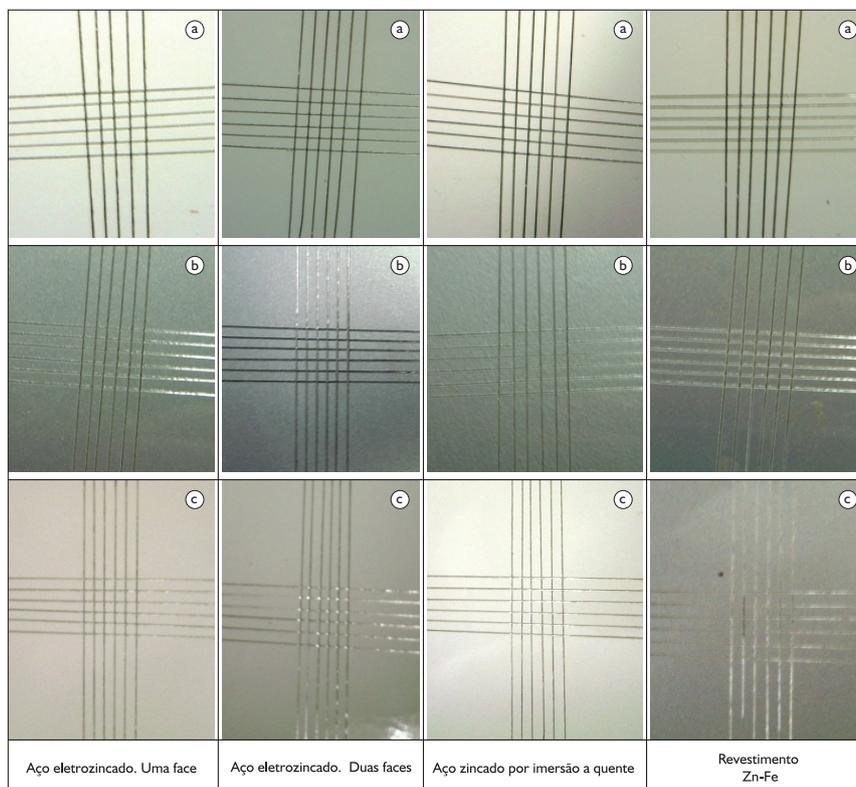


Figura 2. Imagem do ensaio de aderência: (a) linha de pintura 1; (b) linha de pintura 2; e (c) linha de pintura 3.

De acordo com as imagens apresentadas na Figura 2, verifica-se que os materiais processados nas três linhas de pintura apresentam melhor condição de aderência (grau 0).

4.2 Ensaio Cíclico de Corrosão – Scab Corrosion Test

Os resultados do avanço da corrosão dos materiais em estudo, fazendo uso das técnicas *spotface* e *scribe*, após dois meses de ensaio cíclico *Scab Corrosion Test*, são apresentados de acordo com a linha de pintura às quais os mesmos foram processados.

As Figuras 3 e 4 apresentam os gráficos do avanço da corrosão dos materiais em estudo processados na linha de pintura I, fazendo uso das técnicas *spotface* e *scribe*, após dois meses de ensaio cíclico *Scab Corrosion Test*.

De acordo com os gráficos apresentados nas Figuras 3 e 4, verifica-se que as técnicas *spotface* e *scribe* apresentam os mesmos resultados de resistência à corrosão comparativa entre os materiais. Verifica-se também que, para a obtenção de um determinado avanço de corrosão, a técnica *spotface* apresenta um menor tempo de ensaio quando comparado com a técnica *scribe*. Com isso, verifica-se que a técnica *spotface* pode ser empregada em substituição à técnica *scribe*, com a vantagem de reduzir significativamente o tempo de duração dos ensaios de corrosão. De acordo com os valores de avanço da corrosão dos materiais em estudo, verifica-se que o material com revestimento Zn-Fe mostra ser o material com maior resistência à corrosão entre os materiais estudados, visto que o mesmo apresenta menor avanço de corrosão.

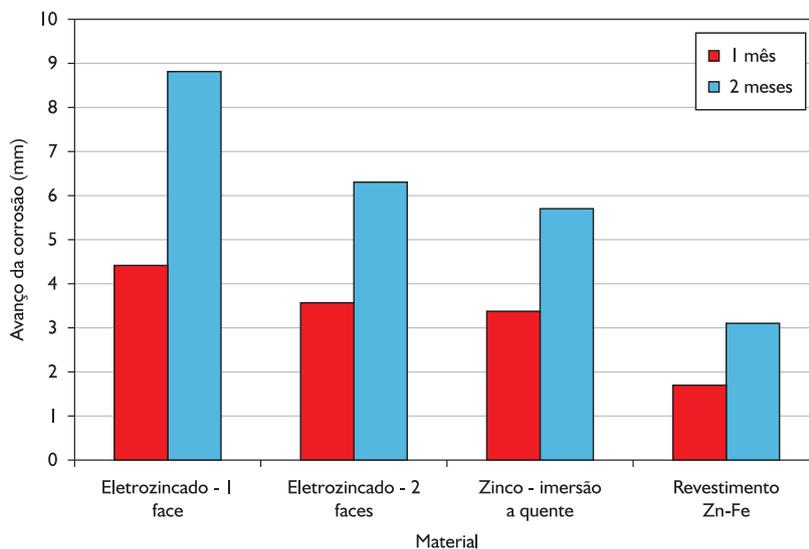


Figura 3. Gráfico do avanço da corrosão após dois meses de ensaio *Scab Corrosion Test* com uso do dano *spotface*, em materiais processados na linha de pintura I.

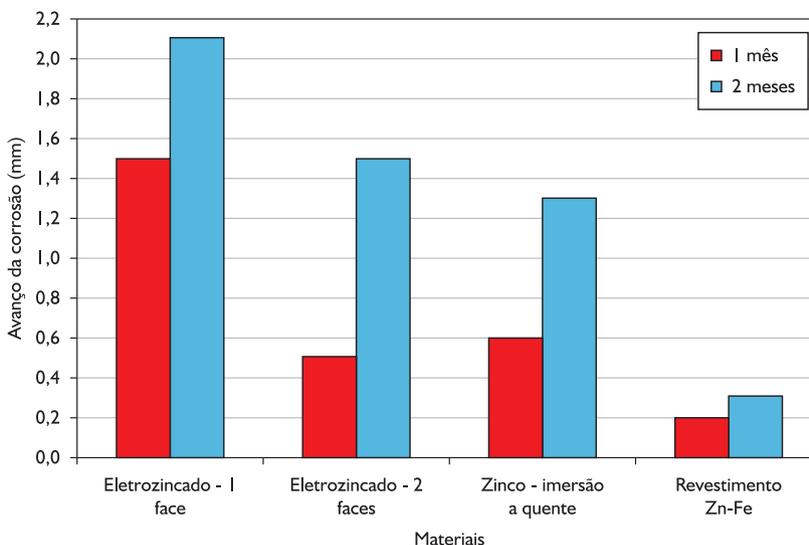


Figura 4. Gráfico do avanço da corrosão após dois meses de ensaio *Scab Corrosion Test* com uso do dano *scribe*, em materiais processados na linha de pintura I.

As Figuras 5 e 6 apresentam os gráficos de avanço da corrosão dos materiais em estudo processados na linha de pintura 2, fazendo uso das técnicas *spotface* e *scribe*, após dois meses de ensaio cíclico *Scab Corrosion Test*.

Baseando-se nos gráficos apresentados nas Figuras 5 e 6, verifica-se que os resultados obtidos de avanço de corrosão nos materiais processados na linha de pintura 2 são semelhantes aos materiais processados na linha de pintura 1. Pode-se observar também que os materiais processados na linha de pintura 1 apresentam, de forma geral, menor avanço da corrosão que os materiais processados na linha de pintura 2.

As Figuras 7 e 8 apresentam os gráficos de avanço da corrosão dos materiais em estudo processados na linha de pintura 3, fazendo uso das técnicas *spotface* e *scribe*, após dois meses de ensaio cíclico *Scab Corrosion Test*.

A exemplo dos materiais processados na linha de pintura 2, os materiais processados na linha de pintura 3 apresentam resultados similares aos materiais processados na linha de pintura 1.

A Figura 9 apresenta as imagens dos materiais em estudo após dois meses de ensaio acelerado de corrosão *Scab Corrosion Test* com uso das técnicas *scribe* e *spotface*.

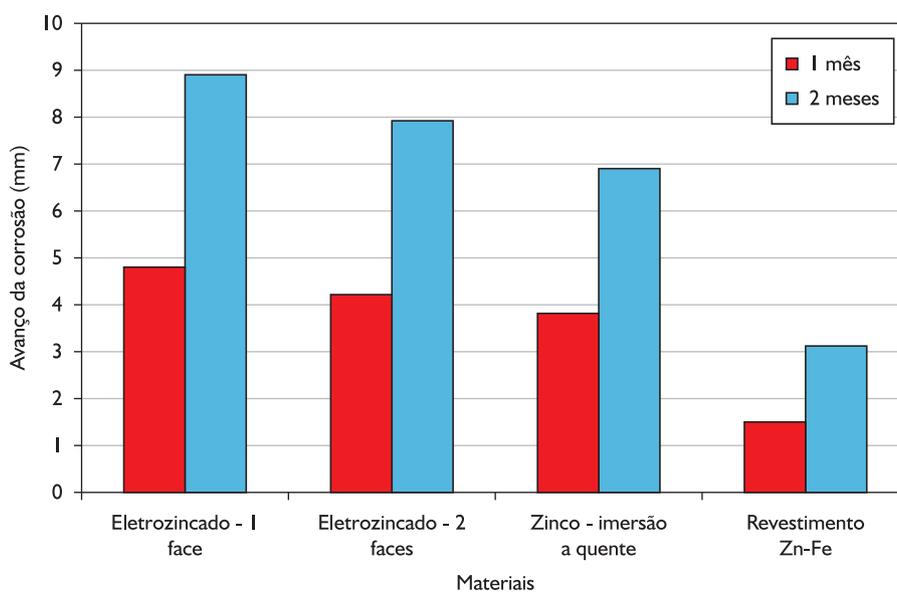


Figura 5. Gráfico do avanço da corrosão após dois meses de ensaio *Scab Corrosion Test* com uso do dano *spotface*, em materiais processados na linha de pintura 2.

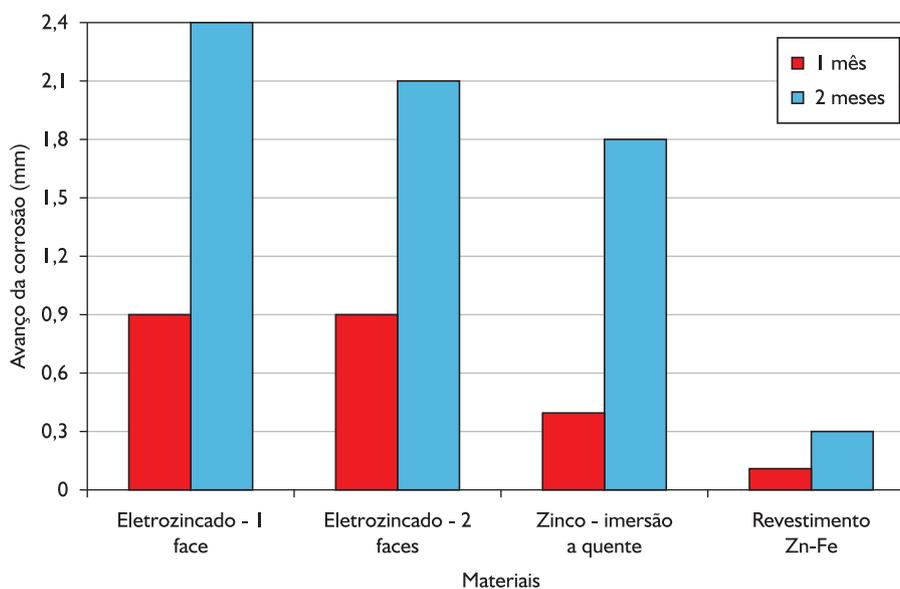


Figura 6. Gráfico do avanço da corrosão após dois meses de ensaio *Scab Corrosion Test* com uso do dano *scribe*, em materiais processados na linha de pintura 2.

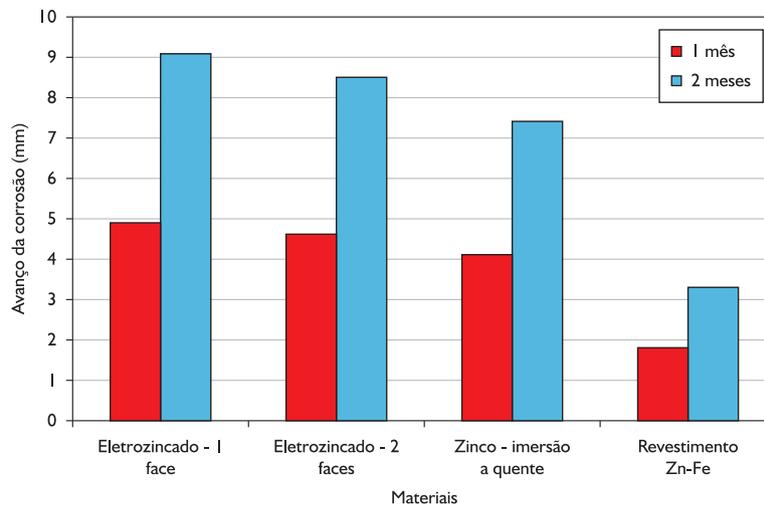


Figura 7. Gráfico do avanço da corrosão após dois meses de ensaio *Scab Corrosion Test* com uso do dano *spotface*, em materiais processados na linha de pintura 3.

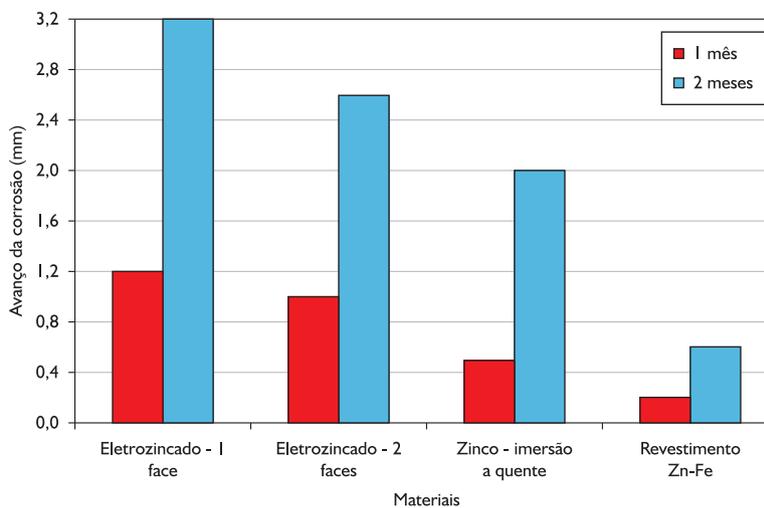


Figura 8. Gráfico do avanço da corrosão após dois meses de ensaio *Scab Corrosion Test* com uso do dano *scribe*, em materiais processados na linha de pintura 3.

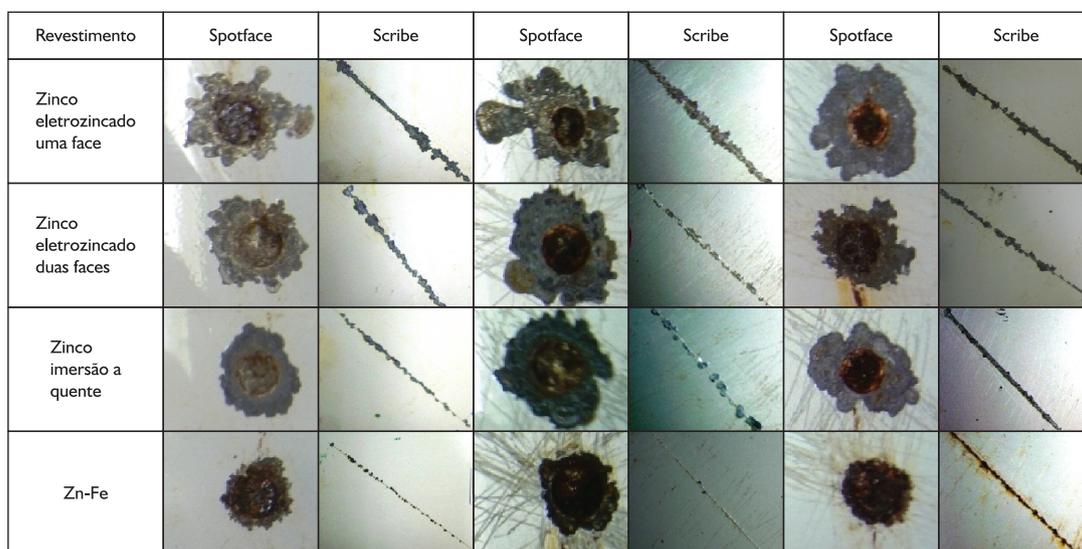


Figura 9. Imagens do avanço da corrosão dos materiais em estudo processados nas 3 linhas de pintura, com o uso das técnicas *spotface* e *scribe*, após dois meses do ensaio *Scab Corrosion Test*.

5 CONCLUSÕES

Os resultados de avanço da corrosão obtidos pelas técnicas *scribe* e *spotface* apresentam tendências similares para todos os materiais avaliados;

A técnica *spotface* é capaz de fornecer resultados de resistência à corrosão de aços revestidos e pintados em escala de tempo inferior à técnica *scribe*;

Verifica-se que, independente da linha de pintura em que foram pintados os materiais, de modo geral o desempenho da resistência à corrosão comparativa entre os materiais avaliados mostra-se com tendências similares;

Verifica-se que, independente da linha de pintura, o material com revestimento da liga Zn-Fe apresenta melhor resistência à corrosão que os demais.

REFERÊNCIAS

- 1 JORDAN, D. L.; FRANKS, L. L.; KALLEND, J. S. Measurement of underfilm corrosion propagation by use spotface paint damage, nº 95384. In: CORROSION 1995: THE NACE INTERNATIONAL ANNUAL CONFERENCE AND CORROSION, 1995, Orlando. *Proceedings...* Houston: Nace International, 1995.
- 2 CARNEIRO, J. C. G., *Avaliação da técnica "spotface" empregada para análise da corrosão de aços revestidos*. 1998. 156 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica) – Escola de Engenharia Industrial de Volta Redonda, Universidade Federal Fluminense, 1998.
- 3 COSTA, A. N. C. *Análise comparativa das técnicas "spotface" e "scribe" na avaliação da resistência à corrosão de aços revestidos e pintados*. 1999. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica) – Escola de Engenharia Industrial de Volta Redonda, Universidade Federal Fluminense, 1999.
- 4 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 11003: Tintas - determinação da aderência*. Rio de Janeiro, 2009.

Recebido em: 16/03/2012

Aceito em: 18/02/2013