

## USO DO AÇO PRÉ-GALVANIZADO EM ESTRUTURAS DE SUPORTE DE PAINÉIS SOLARES\*

Humberto Napoli Bellei<sup>1</sup>  
Egnalda Pereira da Silva Pimenta<sup>2</sup>

### Resumo

O Sol é a principal fonte de energia sustentável com enorme potencial na geração de energia elétrica. O Brasil como outros países do mundo estão começando a construção de fazendas solares. Atualmente as especificações das estruturas para construção das estruturas dos painéis utilizados nessas fazendas tem sido de aços pós-galvanizados justificado pela questão de tempo de garantia, principalmente, devido a presença de furos e bordas que ficariam protegidos contra a corrosão pela grande quantidade de revestimento utilizado. Nesse trabalho serão apresentados resultados de um aço pré-galvanizado que se mostrou seguro e confiável na proteção contra a corrosão dos furos e bordas dos painéis. O estudo teve como base as informações obtidas após o aço ter sido testado no ensaio em câmara de névoa salina e de dados já conhecidos em ensaios de campo.

**Palavras-chave:** Aço Pré-galvanizado; Peças Metálicas com Furos; Aço Pós-Galvanizado; Corrosão.

### PRE GALVANIZED STEEL USE ON SOLAR PANELS SUPPORT STRUCTURES

#### Abstract

The Sun is the main source of sustainable energy with enormous potential in the generation of electric energy. Brazil as other countries in the world are beginning to build solar farms. Currently the specifications of the structures for the construction of the panels used in these farms have been post-galvanized steel justified by the question of time of guarantee, mainly due to the presence of holes and edges that would be protected against corrosion by the large amount of coating used. In this work will be presented results of a pre-galvanized steel that proved safe and reliable in the protection against corrosion of the holes and edges of the panels. The study was based on the information obtained after the steel was tested in the saline fog chamber test and data already known in field trials.

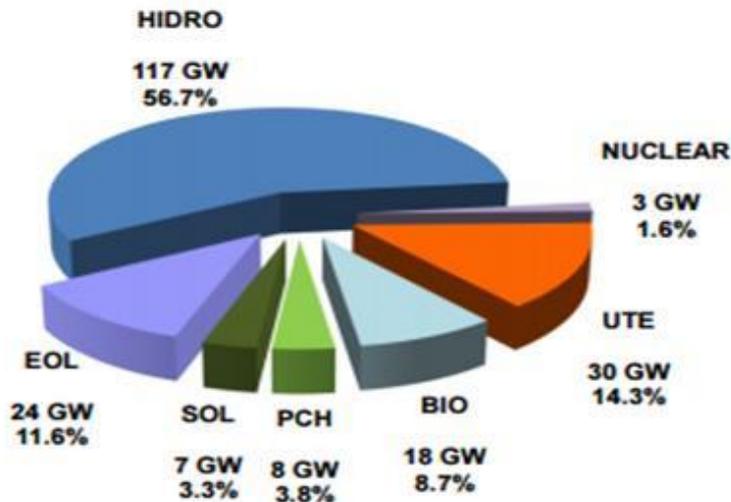
**Keywords:** Pre-Galvanized Steel; Steel Structures with Holes; Post-Galvanized Steel; Corrosion.

<sup>1</sup> Engenheiro Civil com Mestrado na área de Infraestrutura aeronáutica, analista de vendas sênior. Soluções Usiminas, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheira Química, M.Sc., Centro de Pesquisa da Usiminas, Ipatinga, Minas Gerais.

## 1 INTRODUÇÃO

A distribuição da capacidade instalada prevista para 2024, por tipo de fonte, é apresentada na figura 1, na qual é mostrada a grande participação das fontes renováveis, principalmente da fonte hidráulica, essa podendo ser maior ou menor em função da disponibilidade do recurso ano a ano



**Figura 1.** Participação das fontes de geração na capacidade instalada em dezembro de 2024<sup>(1)</sup>.

Como pode ser visto, o sistema de geração pelo sol ocupará ainda os modestos 3,3% de nossa matriz, mas que já é significativo em termos de consumo de aço. Vários são os tipos de estruturas destinadas a construção dos parques solares. Podem ser destacados os sistemas fixos e os móveis, também denominados de *trackers*.



**Figura 2.** Aspectos gerais dos painéis.

Dentro deste cenário muitas empresas têm optado por sistemas usando material pês galvanizado com camadas superiores a 60 micras por face apesar da localização de boa parte das plantas ter classe de agressividade C2 pela ISO 9223<sup>(2)</sup>.

A empresas tem evitado a adoção de material pré-galvanizado devido as peças que fazem parte da estrutura apresentarem furos e cortes nas bordas.

A intenção do trabalho foi demonstrar que o uso do material pré-galvanizado é seguro mesmo em peças com furos e cortes nas bordas;

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a avaliação das regiões de bordas e furos foram usados dois aços galvanizados a quente GI<sup>(3)</sup> que foram submetidos ao teste em câmara de névoa salina. Esses aços eram potencialmente indicados para o empregado na fabricação de seguidores solares que são utilizados em painéis solares.

Foram amostrados industrialmente dois aços galvanizados a quente (HDG GI), cromatizados, com diferentes espessuras de revestimento metálico que foram cortados em amostras nas dimensões de 100 mm X 150 mm, conforme apresentado na tabela 1.

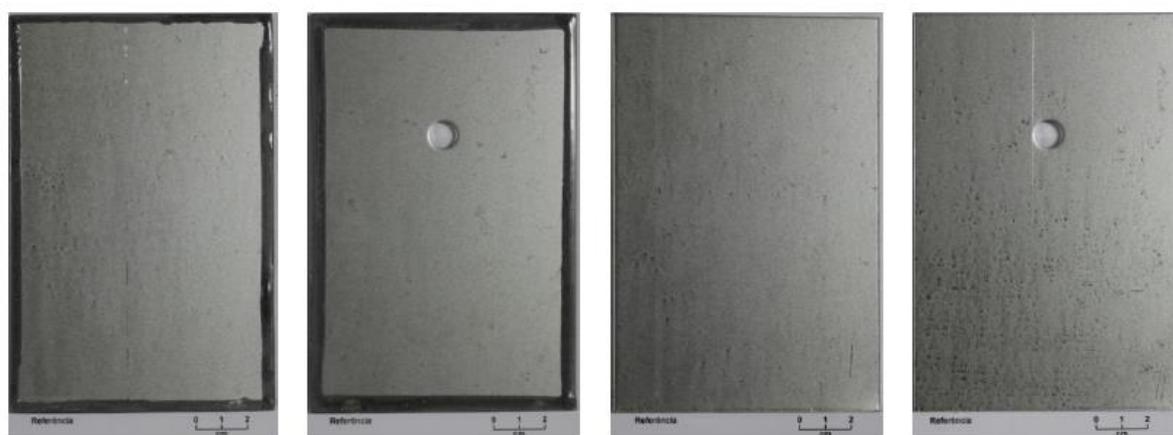
**Tabela 1.** Média e desvio padrão das massas das camadas de cromato e de zinco e medidas da espessura do revestimento metálico.

Aços	Massas dos Revestimentos		Espessuras dos revestimentos metálicos (µm)			
	Cromato (mg/m <sup>2</sup> )	Zinco (g/m <sup>2</sup> )	Mínima	Média	Máxima	Desvio Padrão
Z366Cr	38,1 ± 3,3	366 ± 2	22,2	24,0	26,8	1,3
Z319Cr	31,7 ± 2,1	319 ± 1	20,9	22,8	25,1	1,4

Antes da exposição, foram feitos furos na metade das amostras, também se protegeu as bordas em um quarto das amostras com uma demão de tinta bicomponente epóxi poliamida, o que resultou em quatro tipos de amostras expostas, conforme a figura 1.

O teste de exposição em câmara de névoa salina foi realizado com base nas normas ASTM B117<sup>(4)</sup> e ABNT NBR 8094<sup>(5)</sup> e utilizando uma câmara cíclica Equilam SS1300G1.

A câmara foi mantida com a temperatura interna constante de 35°C e a névoa foi gerada a partir de uma solução de NaCl a 5% p/v. Periodicamente, a câmara foi aberta e as amostras inspecionadas visualmente e por meio de registro fotográfico. O teste continuou até a corrosão vermelha (característica da corrosão do substrato metálico) cobriu cerca de 5% da superfície das amostras



(a) Bordas protegidas  
Amostra tipo 1

(b) Bordas protegidas  
e com furo  
Amostra tipo 3

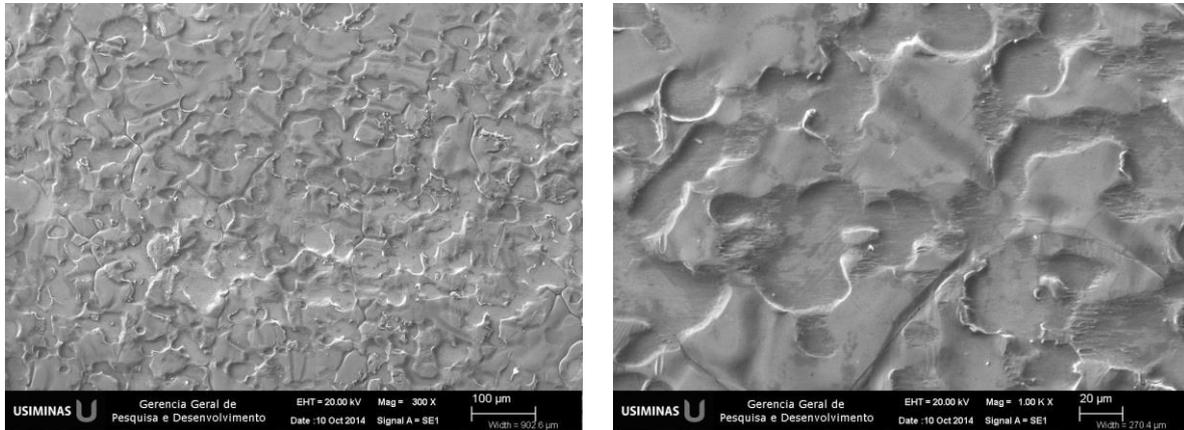
(c) Bordas não  
protegidas – Amostra  
tipo 2

(d) Bordas não  
protegidas e com furo  
Amostra tipo 4

**Figura 3.** Aspectos iniciais das amostras.

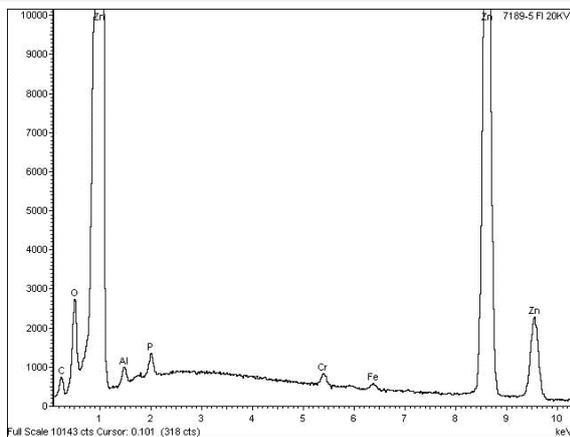
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 2 são apresentadas as análises gerais e representativas, via MEV/EDS, das superfícies das amostras que apresentaram características típicas de acordo com suas especificações

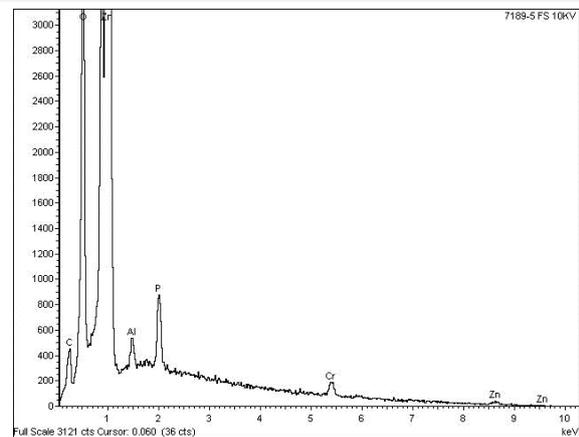


(a) HDG - Cromatizado (AO = 300X)

(b) Detalhe de (a) (AO = 1.000X)



(c) EDS – Geral (20 kV)



(d) EDS – Geral (10 kV)

**Figura 4.** Aspecto geral e representativo, via MEV, da superfície das amostras dos aços e os respectivos espectros de microanálises por EDS, com tensões de 20 kV e 10 kV.

Na tabela 2 são apresentados os tempos decorridos do teste em câmara de névoa salina até a ocorrência de corrosão branca e vermelha na superfície dos aços. Nas figuras 5 a 8 são apresentadas algumas fotografias das amostras após alguns tempos do teste.

Após 24 horas de teste foram observados pontos de corrosão branca na superfície das duas amostras (Z366Cr e Z319Cr). A corrosão branca, em 5% da superfície das amostras, foi observada após 48 horas de teste. Já o primeiro ponto de corrosão vermelha ocorreu após 600 horas de teste. As superfícies foram cobertas com 5% de corrosão vermelha após 864 horas para a amostra Z319Cr e 912 horas para a amostra Z366Cr.

Independente das amostras estarem com furos ou sem as bordas protegidas não foi observado comportamento distinto do das amostras com as bordas protegidas após o teste em câmara de névoa salina constante, que é teste de corrosão mais agressivo que existe para aços galvanizados, principalmente, sem pintura<sup>(6)</sup>. A corrosão não foi mais intensa nessas regiões, principalmente, porque o zinco das suas vizinhanças exerceu a função de proteger catodicamente o substrato metálico,

conforme era esperado. Na figura 9 apresenta-se uma foto da face oposta à que foi exposta de uma amostra sem as bordas protegidas e com furo.

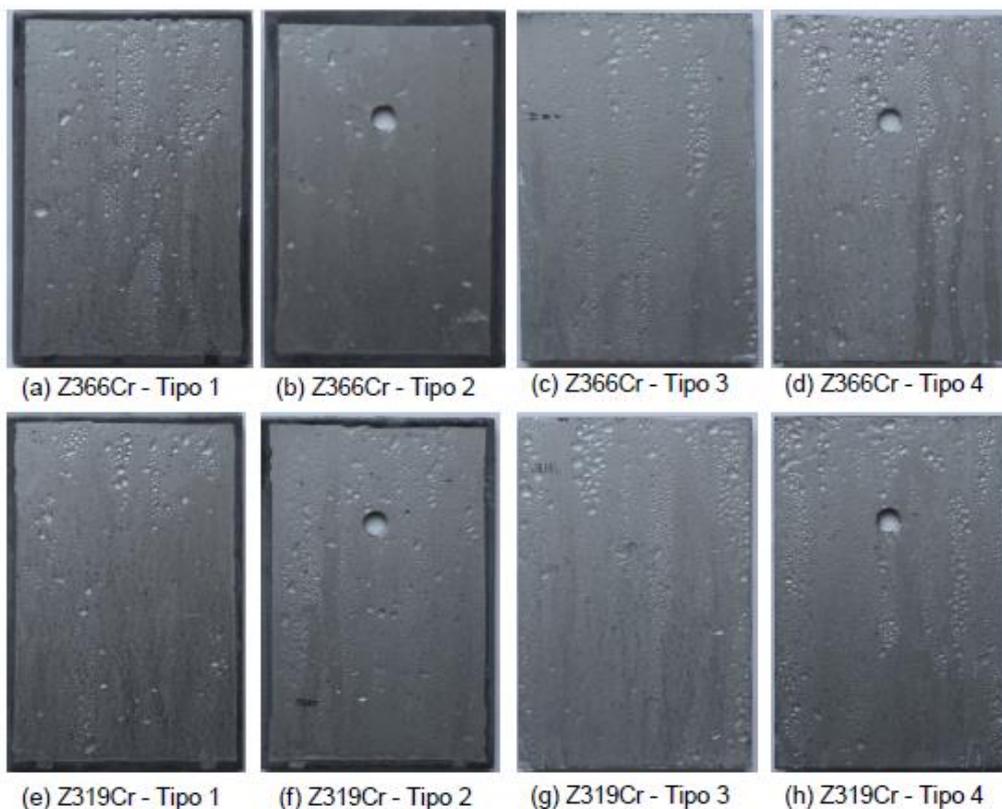
Pode ser visto que o zinco da vizinhança das bordas e furos corroeu e protegeu as regiões expostas.

O surgimento e a evolução da corrosão vermelha depende fundamentalmente das massas das camadas de zinco e de cromatização e ocorre mais lentamente com o aumento dessas. Entretanto, deve-se ressaltar que as massas dos revestimentos variam dentro de determinadas faixas de valores, cujas amplitudes aumentam com o aumento das massas totais das camadas. Além disto, as espessuras dos revestimentos apresentam variações localizadas decorrentes, principalmente, do relevo do substrato. Desta forma, a corrosão vermelha ocorre dentro de um intervalo de tempo, de modo que materiais de mesma especificação não necessariamente demandem tempos exatamente iguais para apresentarem pontos de corrosão vermelha.

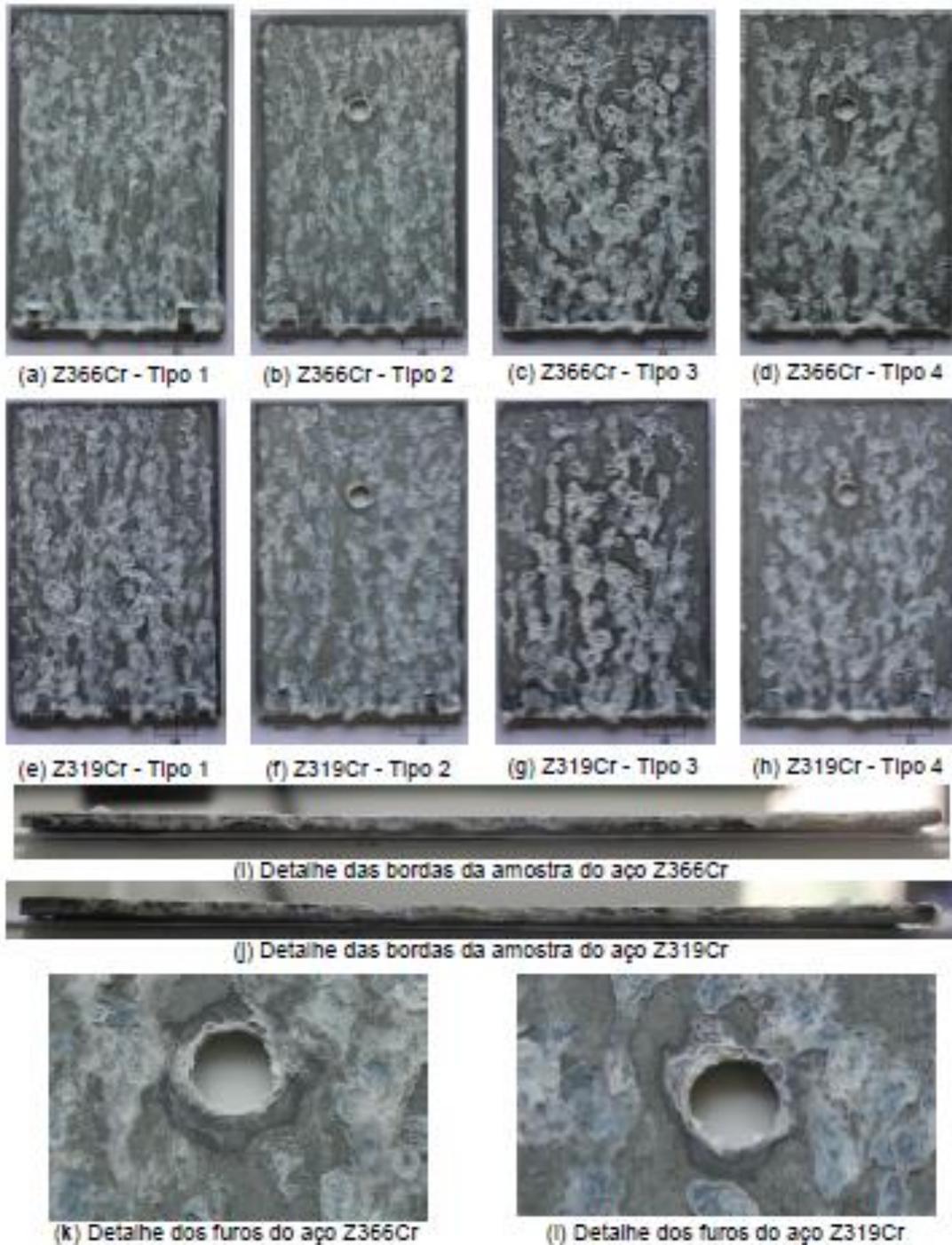
**Tabela 2.** Tempos necessários para ocorrência de corrosão branca e vermelha nas superfícies das amostras.

Aços	Tempos de avaliação (horas)												
	24	48	72	96	168	336	384	504	600	700	744	864	912
Z366Cr	PB	PB	PB	CB	CB	CB	CB	CB	PV	PV	PV	PV	CV
Z319Cr	PB	PB	PB	CB	CB	CB	CB	CB	PV	PV	PV	CV	CV

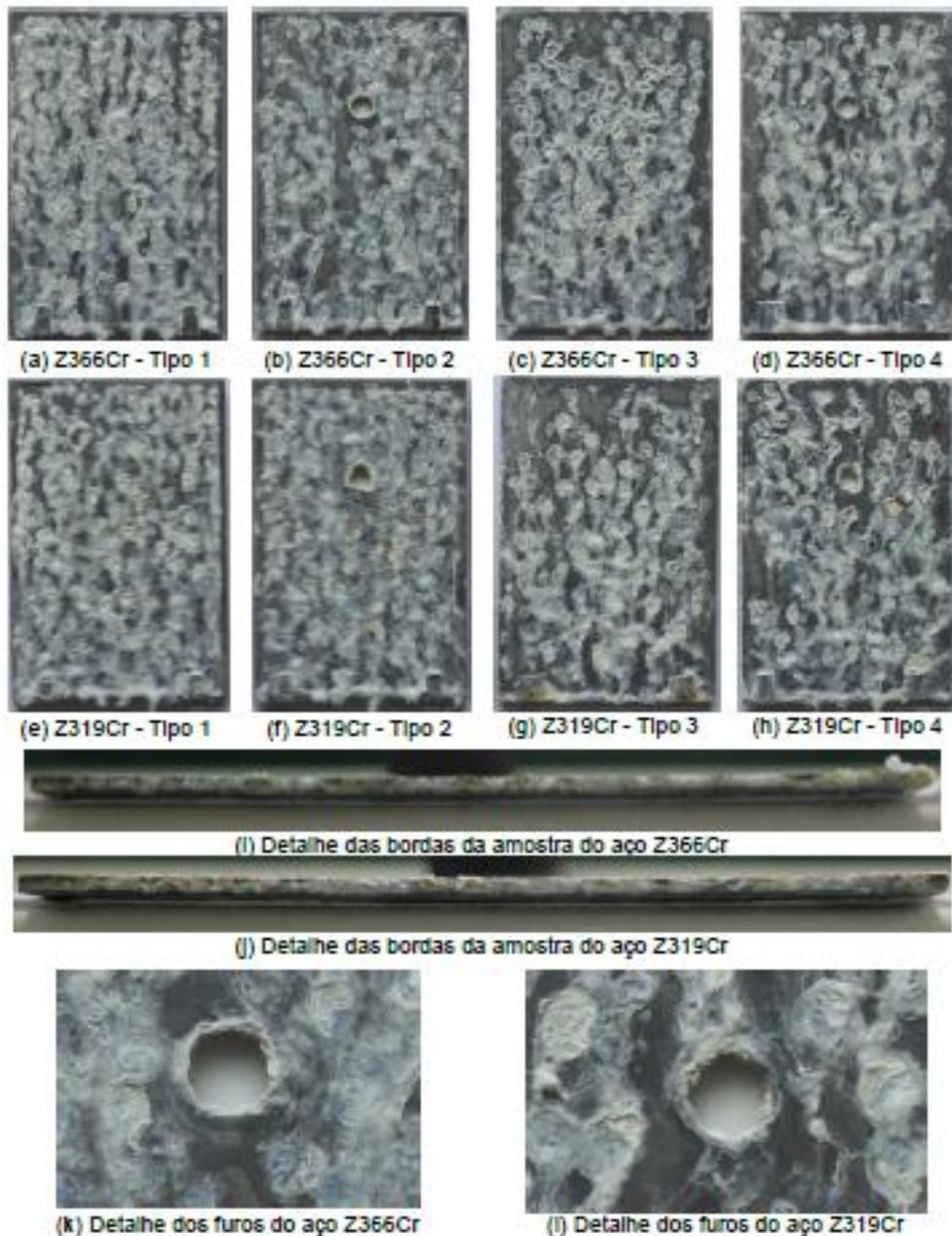
Obs. Os resultados dessa tabela são os das amostras com as bordas protegidas e sem furos.



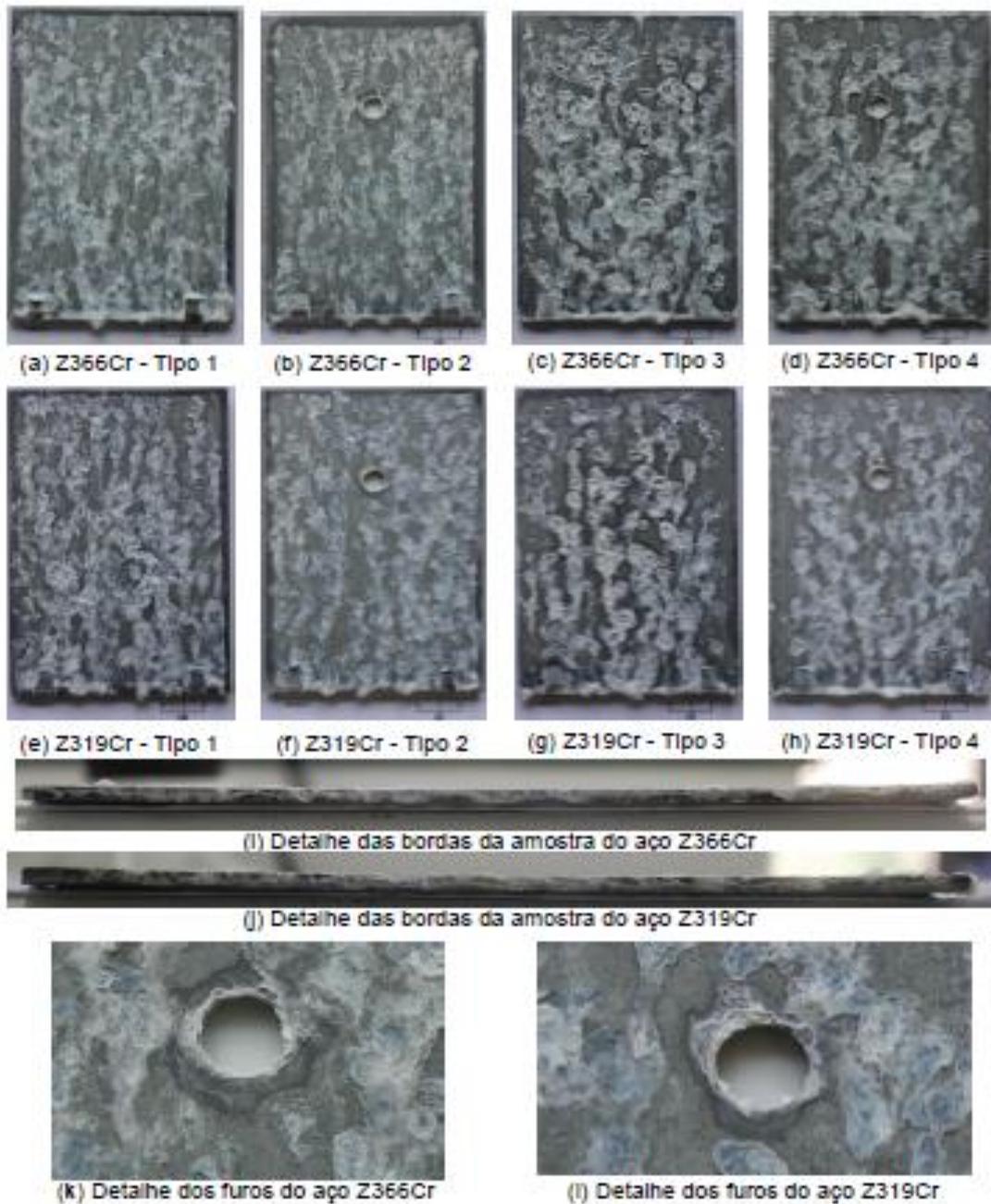
**Figura 5.** Aspectos representativos das amostras após 24 horas de teste. Tipo 1 = com as bordas protegidas; Tipo 2 = com as bordas protegidas e com furo; Tipo 3 = com as bordas não protegidas; Tipo 4 = com as bordas não protegidas e com furo.



**Figura 6.** Aspectos representativos das amostras após 336 horas de teste. Tipo 1 = com as bordas protegidas; Tipo 2 = com as bordas protegidas e com furo; Tipo 3 = com as bordas não protegidas; Tipo 4 = com as bordas não protegidas e com furo.



**Figura 7.** Aspectos representativos das amostras após 600 horas de teste. Tipo 1 = com as bordas protegidas; Tipo 2 = com as bordas protegidas e com furo; Tipo 3 = com as bordas não protegidas; Tipo 4 = com as bordas não protegidas e com furo.



**Figura 8.** Aspectos representativos das amostras após 864 horas de teste. Tipo 1 = com as bordas protegidas; Tipo 2 = com as bordas protegidas e com furo; Tipo 3 = com as bordas não protegidas; Tipo 4 = com as bordas não protegidas e com furo.

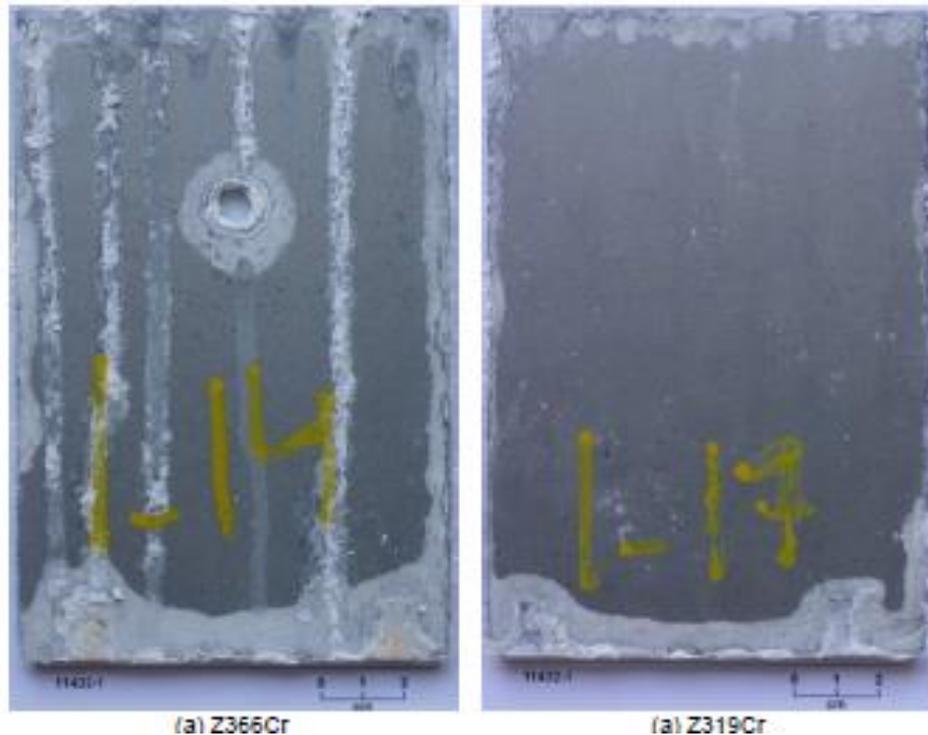


Figura 9. Aspectos representativos das faces não expostas das amostras.

#### 4 CONCLUSÃO

Foram testadas amostras de dois aços galvanizados a quente GI cromatizados com camadas de revestimento de 366 g/m<sup>2</sup> (Z366Cr) e 319 g/m<sup>2</sup> (Z319Cr). Essas amostras foram expostas com e sem furos e com e sem as bordas protegidas ao teste em câmara de névoa salina contínua por 864 horas.

Após 24 horas de teste foram observados pontos de corrosão branca na superfície das duas amostras (Z366Cr e Z319Cr). A corrosão branca, em 5% da superfície das amostras, foi observada após 48 horas de teste. Já o primeiro ponto de corrosão vermelha ocorreu após 600 horas de teste. As superfícies foram cobertas com 5% de corrosão vermelha após 864 horas para a amostra Z319Cr e 912 horas para a amostra Z366Cr.

Independente das amostras estarem com furos ou sem as bordas protegidas não foi observado comportamento distinto do das amostras com as bordas protegidas após o teste em câmara de névoa salina constante, que é teste de corrosão mais agressivo que existe para aços galvanizados, principalmente, sem pintura. A corrosão não foi mais intensa nessas regiões, principalmente, porque o zinco das suas vizinhanças exerceu a função de proteger catodicamente o substrato metálico, conforme era esperado.

O surgimento e a evolução da corrosão vermelha dependem fundamentalmente das massas das camadas de zinco e de cromatização e ocorre mais lentamente com o aumento dessas. Entretanto, deve-se lembrar que as massas dos revestimentos variam dentro de determinadas faixas de valores, cujas amplitudes aumentam com o aumento das massas totais das camadas. Além disto, a espessura dos

revestimentos apresentam variações localizadas decorrentes, principalmente, do relevo do substrato. Desta forma, a corrosão vermelha ocorre dentro de um intervalo de tempo, de modo que materiais de mesma especificação não necessariamente demandem tempos exatamente iguais para apresentarem pontos de corrosão vermelha.

## Agradecimentos

Agradecimento especial ao Centro de Pesquisa da Usiminas, a Soluções Usiminas e a todos os que colaboraram direta e indiretamente na pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- 1) Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em <http://www.epe.gov.br/leiloes/Paginas/default.aspx?CategoriaID=7010>. Data da consulta: 25 de março de 2017.
- 2) Norma ISO 9223. Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification - International Organization for Standardization. Edição 1992.
- 3) ASTM A653/A653M - Specification for Steel Sheet, Zinc-Coated (Galvanized) or Zinc-Iron Alloy-Coated (Galvannealed) by the Hot-Dip Process.
- 4) Norma ASTM B 117 - American Society for Testing and Materials – Standard Test Method of Salt spray (fog) testing, 1995.
- 5) Norma NBR 8094 - Material Metálico Revestido e Não-Revestido - Corrosão por Exposição à Névoa Salina, 1983.
- 6) PIMENTA. E. P. S.; GOULART-SANTOS, S. Resistência à Corrosão de Aços Revestidos com Zinco Submetidos ao Teste em Câmara de Névoa de Salina. Congresso Internacional de Corrosão INTERCORR da ABRACO. Búzios/RJ, 16 a 20 de Maio, 2016.