

APLICAÇÃO DO GALVALUME® - QUALIDADE ESTAMPAGEM - EM SUBSTITUIÇÃO AO GALFAN® NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA¹

Nicodemos Henrique da Silva Coni²

Leandro Cardoso Padilha³

Adriano Scheid⁴

Michel de Castro Nunes⁵

Resumo

O mercado atual do aço extremamente competitivo exige das empresas siderúrgicas a busca pelo crescimento da participação dos seus produtos no atendimento dos mais variados setores. A Companhia Siderúrgica Nacional é a única empresa siderúrgica no Brasil licenciada para a produção do Galvalume® – chapa de aço revestida com a liga 55%Al-Zn. O Galvalume® – *in natura* e após pintura – vem sendo largamente utilizado no Brasil na Construção Civil em aplicações como: telhados, tapamentos laterais, painéis, dentre outras. O Galfan® - chapa de aço revestido com a liga 5%Al-Zn – é utilizado para confecção de coletores de sistemas de refrigeração de automóveis e não é produzido no Brasil. O objetivo desse trabalho é a realização de uma análise comparativa entre o Galfan® importado e o Galvalume® fabricado na CSN/PR visando adequação deste último na confecção de coletores para uso na indústria automobilística. A análise comparativa foi realizada através do método de determinação do peso de revestimento, ensaio de tração e ensaio acelerado de corrosão em câmara de névoa salina. Os resultados indicaram que as amostras de Galvalume® fabricadas pela CSN/PR apresentaram propriedades mecânicas similares às amostras de Galfan® e superaram este último em termos de resistência à corrosão mostrando um novo potencial para o Galvalume® – a substituição do Galfan® na indústria automobilística.

Palavras Chave: Galvalume®; Galfan®; Corrosão.

APPLICATION OF GALVALUME® - DRAWING QUALITY – REPLACING GALFAN® AT THE AUTOMOBILE INDUSTRY

Abstract

The current steel market is extremely competitive and requires the steel companies to look for the increasingly use of its products in different markets. Companhia Siderurgica Nacional is the only Brazilian Steel Company licensed to produce Galvalume® – steel sheet coated with 55%Al-Zn alloy. Galvalume® – as coated and painted – has been widely used in the Brazilian Civil Construction for applications as roofing, cladding and panels. Galfan® – steel sheet coated with 5%Al-Zn alloy – has been used to produce parts of the cooling systems used in cars. Galfan® is not produced in Brazil. The aim of this paper is to make a comparative analysis between Galfan® samples which is imported from Europe and Galvalume® samples which is produced at CSN/PR. The comparative analysis was made based on the coating weight measurement, tensile tests and salt spray tests. The results indicated that Galvalume® samples produced at CSN/PR shows similar mechanical properties and improved salt spray results compared to Galfan® samples opening a new potential market for Galvalume® – to replace Galfan® in the Automobile Industry.

Key words: Galvalume®; Galfan®; Corrosion.

¹ Contribuição técnica ao 45° Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 21 a 24 de outubro de 2008, Ipojuca - Porto de Gainhas - PE

² Eng. Metalúrgico, MSc em Engenharia e Ciências dos Materiais - Coordenador Técnico da Qualidade - Companhia Siderúrgica Nacional - Araucária/PR

³ Eng. Produção - Técnico de Desenvolvimento da Linha de Galvanização - Companhia Siderúrgica Nacional - Araucária/PR

⁴ Eng. Metalúrgico, Dr. em Engenharia e Ciências dos Materiais - Engenheiro de Desenvolvimento de Novos Produtos - Companhia Siderúrgica Nacional - Araucária/PR

⁵ Eng. Metalúrgico - Engenheiro de Produto - Companhia Siderúrgica Nacional - Araucária/PR

1 INTRODUÇÃO

Em razão das suas várias características favoráveis, o aço é adequado e amplamente utilizado em grande gama das aplicações de engenharia. O aço possui excelentes propriedades mecânicas, tais como resistência mecânica e ductilidade, tenacidade e resistência a fadiga. Este ainda oferece bons requisitos de formabilidade, soldabilidade e pintabilidade. Outros fatores positivos incluem a abundância do minério de ferro, propriedades ferromagnéticas, reciclabilidade e baixo custo. Apesar das diversas vantagens, o aço está suscetível à corrosão em presença de umidade e a oxidação a temperaturas elevadas, o que requer alguma forma de proteção.

Dentre os métodos de proteção contra a corrosão do aço pode-se citar: alteração do metal pela adição de elementos de liga, mudança do ambiente por meio de deionização ou uso de inibidores, controle do potencial eletroquímico pela aplicação de correntes anódicas ou catódicas e por aplicação de revestimentos orgânicos e metálicos. A aplicação de revestimentos metálicos pelo processo contínuo de imersão a quente é uma das formas mais utilizadas para proteção do aço. Nesse processo, a tira metálica é imersa em um banho de metal fundido de modo contínuo. Dentre os revestimentos metálicos propensos à aplicação pelo processo de imersão a quente, podemos citar as ligas 55%Al-Zn e 5%Al-Zn.

O Galvalume[®] é a chapa de aço revestida com a liga 55%Al-Zn e combina a durabilidade do alumínio com a proteção galvânica do zinco, oferecendo excelente resistência a corrosão em atmosferas marinha e industrial, resistência a oxidação a altas temperaturas e refletividade térmica associados com aparência agradável e distinta quando comparado a outros revestimentos semelhantes. Suas características de conformabilidade, soldabilidade e pintabilidade, associados as suas propriedades mecânicas, favorecem o uso para aplicações em diversos segmentos.

O Galfan[®] é o nome comercial da chapa de aço revestida com a liga 5%Al-Zn. Após a primeira produção em larga escala o produto foi chamado de "galvanisation fantastique", o que abreviado resultou no nome comercial Galfan[®] registrado pela International Lead Zinc Research Organization (ILZRO).

A Indústria automobilística utiliza coletores, nos sistemas de refrigeração dos automóveis, que são fabricados a partir de Galfan[®] importado da Europa. O objetivo desse trabalho é a realização de uma análise comparativa entre amostras de Galfan[®] importado e amostras de Galvalume[®] fabricado na CSN/PR visando adequação deste último na confecção de coletores para uso na indústria automobilística. A análise comparativa foi realizada através do método gravimétrico de determinação do peso de revestimento, ensaio de tração uniaxial para avaliação do limite de escoamento e limite de resistência a tração e ensaio acelerado de corrosão em câmara de névoa salina.

2 GALFAN[®] - LIGA 5%Al-Zn

De acordo com o diagrama de fase alumínio - zinco, uma liga eutética de baixo ponto de fusão ocorre a 5% de alumínio. As chapas de aço revestidas com liga apresentando aproximadamente esta composição (entre 4 e 7% Al) são mais resistentes a corrosão que o revestimento zincado de mesma espessura quando submetidos a testes acelerados de laboratório ou em ambientes marinhos severos.⁽¹⁾

Entretanto, o mesmo revestimento não apresenta maior resistência que os revestimentos zincados em ambientes marinho moderado, industrial e rural.

O revestimento 5%Al-Zn possui pequenas adições de outros elementos. O Galfan® contém aproximadamente 0,1% de terras raras (cério e lantânio), os quais são adicionados para aumentar a molhabilidade do banho e reduzir a ocorrência de pontos sem revestimento. Os revestimentos eutéticos geralmente não sofrem adição de chumbo e não apresentam cristais.⁽¹⁾

A microestrutura do revestimento 5%Al-Zn é caracterizada por uma matriz de 5%Al e regiões espalhadas de zinco primário. Camadas intermetálicas não são visíveis devido à menor temperatura do banho e o teor de alumínio é maior do que nas chapas zincadas convencionais.⁽¹⁾

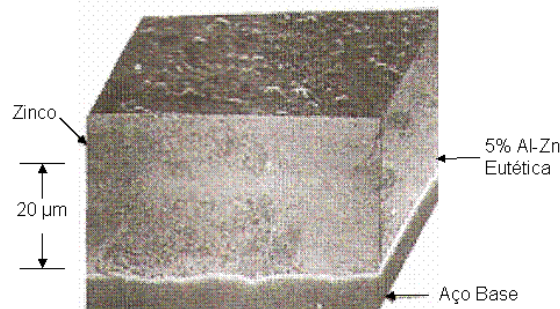


Figura 1: Microestrutura do revestimento formado pela liga 5%Al-Zn

3 LIGA 55%Al-Zn (GALVALUME®)

O Galvalume® é a chapa de aço revestida com a liga contendo 55% de alumínio, 1,5% de silício e o restante de zinco, aplicada por meio de imersão à quente similar ao processo de zincagem convencional. Este revestimento combina a durabilidade do alumínio com a proteção galvânica do zinco, oferecendo excelente resistência a corrosão em atmosferas marinha e industrial, resistência a oxidação a altas temperaturas e refletividade térmica associados com aparência agradável e distinta quando comparado a outros revestimentos galvanizados.⁽²⁻⁵⁾

A concentração de zinco e alumínio presente no revestimento 55%Al-Zn promove resistência a corrosão otimizada devido otimização do mecanismo de proteção galvânica promovida pelo zinco e o mecanismo de proteção por barreira promovida pelo alumínio. A variação da proteção galvânica e da proteção por barreira para diferentes teores de zinco e alumínio está mostrada na Figura 2. A combinação desses dois mecanismos de proteção contra a corrosão confere ao Galvalume® resistência a corrosão de 2 a 6 vezes maior do que o revestimento zincado convencional.⁽⁶⁾

O revestimento 55%Al-Zn foi inventado e é produzido comercialmente pela Bethlehem Steel Corporation desde 1972 e, em virtude de suas propriedades, mais de 40 dos maiores produtores de aço do mundo já são licenciados, até a data atual, para o uso da tecnologia de produção de Galvalume®.⁽⁴⁾

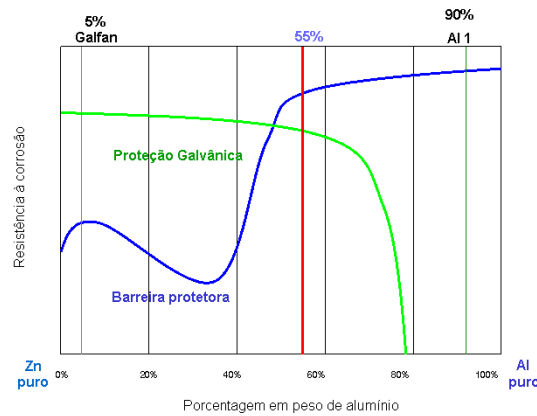


Figura 2 – Relação entre a proteção galvânica e a proteção por barreira para diferentes teores de zinco e alumínio.

A produção anual mundial deste produto é de aproximadamente 9 milhões de toneladas, sendo cerca de 70% utilizada na construção civil, 10% em utilidades domésticas, 5% em indústrias automobilísticas (carrocerias de ônibus e escapamentos), 5% na agricultura (silos) e 10% em outras aplicações. O revestimento tem várias marcas comerciais registradas: Galvalume[®], Aluzinc[®], Algafort[®], Zalutite[®], Zinalume[®], Zincalit[®], entre outros.⁽²⁾

A análise da microscópica do revestimento apresenta uma estrutura com três fases principais:

- Fina camada intermetálica quaternária constituída de Al, Zn, Fe e Si, entre o aço base e o revestimento;
- Fase dendrítica rica em alumínio (cerca de 80% do volume);
- Fase interdendrítica rica em zinco.

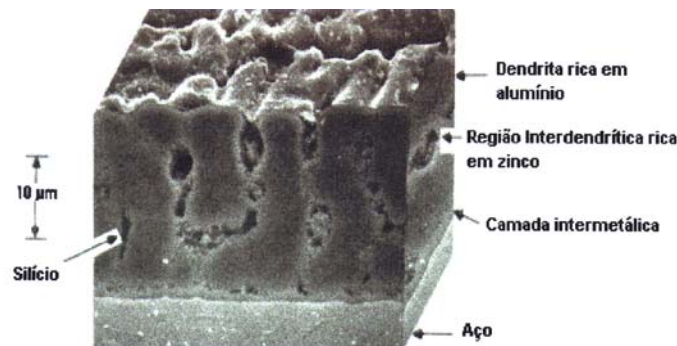


Figura 3 – Representação da seção transversal da camada de revestimento da liga 55%Al- Zn

Todas as três fases são importantes para promover a resistência à corrosão desejada. A fase dendrítica rica em zinco promove uma proteção galvânica similar aos revestimentos zincados. Já a fase dendrítica rica em alumínio e a camada intermetálica são responsáveis pela maior durabilidade do revestimento reduzindo a velocidade em que a fase rica em zinco é consumida.⁽³⁾ A Figura 3 mostra uma representação esquemática da seção transversal da camada de revestimento da liga 55%Al-Zn.

Aproximadamente 80% do volume da estrutura complexa da chapa revestida com liga 55%Al-Zn é composta por dendritas ricas em alumínio, constituindo o primeiro sólido a se formar durante o resfriamento.⁽³⁾ Conforme o diagrama de fases, o líquido final a se solidificar nas regiões interdendríticas é enriquecido em zinco. Uma fina camada intermetálica (1 µm a 2 µm) formada por ferro, alumínio e zinco é evidente na interface aço / revestimento.

Aproximadamente 1,5% de silício é adicionado a liga 55%Al-Zn a fim de minimizar o crescimento da camada intermetálica durante a imersão. Este está presente na forma de agulhas espalhadas, a maior parte na região interdendrítica.⁽³⁾

4 RESISTÊNCIA A CORROSÃO DOS REVESTIMENTOS Al-Zn

As ligas compostas por Al-Zn apresentam resultados práticos de maior durabilidade e resistência à corrosão do que revestimentos compostos por zinco puro.

A Tabela 1 mostra os resultados de resistência a corrosão dos revestimentos metálicos: zinco puro; 4% Al-Zn; 7% Al-Zn e 55% Al-Zn e correlacionam a resistência à corrosão de cada liga com atmosferas distintas. As amostras foram ensaiadas durante um período de tempo explicitado nesta análise em anos de exposição ao meio.

Tabela 1 – Tempo de Vida das Ligas Al-Zn Produzidas por Imersão a Quente, Expostas em Diferentes Atmosferas.⁽¹⁾

AMBIENTE	Tempo em anos para início da oxidação do aço			
	Zn	4% Al/Zn	7% Al/Zn	55% Al/Zn
Ambiente Marinho Severo				
25 m do oceano, Kure beach, NC	4	9	9	15
Ambiente Marinho Moderado				
250 m do Oceano, Kure beach, NC	16	15	14	>25
Ambiente Rural				
Say Lorsburg. PA	14	14	14	>25
Ambiente Industrial				
Bethlehem, PA	10	10	9	>25

5 ESPECIFICAÇÃO E PRODUÇÃO DO GALVALUME® – QUALIDADE ESTAMPAGEM

A produção do Galvalume® para a confecção das partes utilizadas nos ensaios comparativos foi realizada na Linha de Galvanização Contínua da Companhia Siderúrgica Nacional – unidade de Araucária (PR). Esta linha foi projetada para a produção tanto de produtos galvanizados convencionais quanto do Galvalume® dentro do conceito “Dual Purpose” contando com todos os recursos necessários à produção de galvanizados, com a inserção de outros específicos para a produção do Galvalume®. As características técnicas principais da linha estão apresentadas resumidamente na Tabela 2.

Tabela 2- Características Técnicas Principais da Linha de Galvanização.

Características Técnicas Principais		
Largura da tira (min / máx)	700 / 1600mm	
Espessura da tira (mín / máx)	0,25 / 1,55mm	
Peso máximo de bobinas	25 t	
Diâmetro Interno de Saída	508 ou 610mm	
Diâmetro Externo de Saída (min / máx)	600 / 2070mm	
Produtos	Galvanizado (cristais normais e minimizados) e Galvalume®	
Peso de Revestimento (min/ máx)	Zinco	50/ 200g/m ² /face
	55%Al-Zn	50/100g/m ² /face
Passivação	Cromatização / Resina Acrílica	

Como a fabricação dos coletores demanda um aço com Qualidade de Estampagem, o produto especificado foi o Galvalume® conforme ASTM A 792M – Grau DS (Drawing Steel) com substrato a base de aço IF (Interstitial Free).

A dimensão das bobinas produzidas na Linha de Galvanização Contínua foi 0,80 x 1200mm para posterior processo de corte longitudinal (slitter) e entrega de rolos de diferentes larguras para fabricação de diferentes modelos de coletores.

A designação do revestimento selecionado foi o AZM 150 possuindo 150g/m² de revestimento - conforme especificado na ASTM A 792M. Este revestimento equivale a aproximadamente 20 µm de espessura total (soma do revestimento nas duas faces).

O Galvalume® não recebeu nenhum tratamento de passivação do revestimento (tratamento químico ou aplicação de resina acrílica) para adequação a Diretiva RoHS (Restriction of Hazardous Substances). O produto recebeu somente uma camada leve de óleo protetivo.

6 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O GALVALUME® E O GALFAN®

Para a utilização bem sucedida dos produtos revestidos em coletores utilizados em sistemas de refrigeração de automóveis, dois fatores são importantes e precisam ser analisados: conformabilidade das chapas revestidas permitindo a estampagem dos coletores e a resistência a corrosão ligada à vida útil do produto final.

Para avaliação da conformabilidade foi investigado o limite de escoamento e limite de resistência a tração e para a resistência a corrosão foram realizados ensaios em câmara de névoa salina. Adicionalmente foi realizado o ensaio de determinação do peso de revestimento dos dois produtos.

As amostras de chapa de aço revestida com a liga 55%Al-Zn utilizadas nos ensaios foram coletadas de bobinas produzidas na CSN/PR e as amostras de chapa de aço revestidas com a liga 5%Al-Zn utilizadas foram disponibilizadas para análise da CSN/PR após a coleta em bobinas importadas.

6.1 Peso de Revestimento

As amostras de Galvalume® e Galfan® foram submetidas ao ensaio de determinação do peso de revestimento através do método gravimétrico. Os resultados encontrados estão mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Peso de Revestimento em g/m² encontrado nas amostras de Galfan® e Galvalume®

AMOSTRAS	REVESTIMENTO ENCONTRADO g/m ²	REVESTIMENTO CONTRATADO	ESPESSURA APROXIMADA DA CAMADA DE REVESTIMENTO (µm),
GALFAN®	297	ZGF275	19
GALVALUME®	158,8	AZM150	20

Pode-se observar na Tabela 3, que as amostras de Galfan® estudadas apresentaram peso de revestimento conforme designação ZGF275 citada na norma ASTM A 575. Pode-se observar na Tabela 3 que, apesar das grandes diferenças entre o peso de revestimento entre os dois produtos, as espessuras dos revestimentos são similares. Isso se deve a menor densidade da liga 55%Al-Zn

comparada com a densidade da liga 5%Al-Zn resultando ainda em menor peso do coletor confeccionado com Galvalume® com relação ao coletor confeccionado com Galfan®.

6.2 Limite de Escoamento

Os valores do Limite de Escoamento verificados para as amostras de Galvalume® e para as amostras de Galfan estão citados na Figura 4. Os valores encontrados para o Galvalume® atendem a norma ASTM A 792M que especifica valores dessa propriedade mecânica entre 140 a 240 MPa. Os resultados mostraram que os valores do limite de escoamento encontrado para as amostras de Galvalume® e para as amostras de Galfan® são similares.

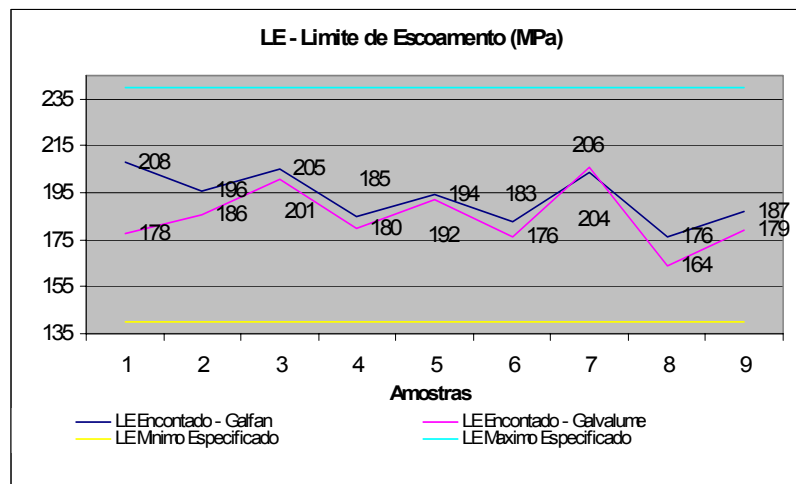


Figura 4: Valores do limite de escoamento medidos para o Galfan® e do Galvalume®

6.3 Limite de Resistência a Tração

Os valores do Limite de Resistência a Tração verificados para as amostras de Galvalume® e para as amostras de Galfan® estão citados na Figura 5. A norma ASTM A792M não estabelece valores para esta propriedade mecânica. Os resultados mostraram que os valores do limite de resistência a tração encontrados para as amostras de Galvalume® e para as amostras de Galfan® são similares.

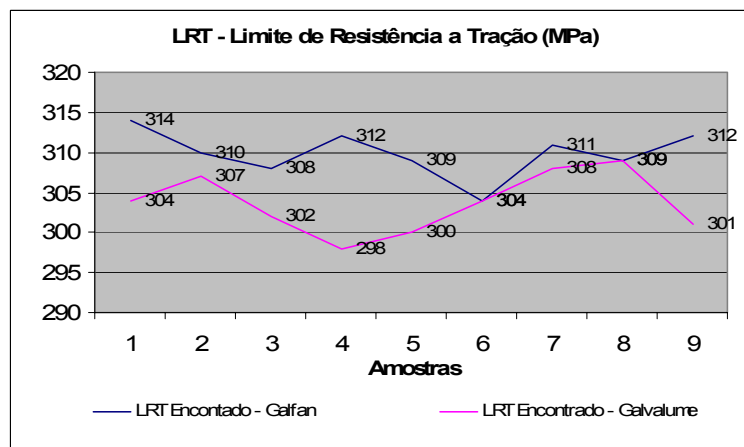
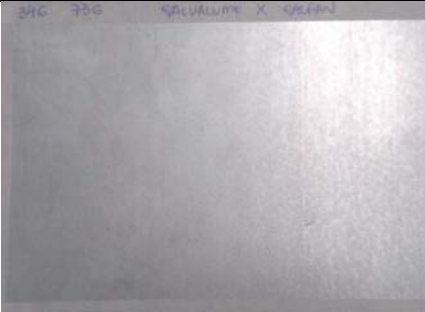







Figura 5: Valores do limite de resistência a tração medidos para o Galfan® e do Galvalume®

6.4 Resistência a Corrosão

Para avaliação comparativa da resistência a corrosão, amostras de Galvalume® e Galfan® foram submetidas a câmara de névoa salina no Laboratório da CSN/PR. Os resultados são apresentados na Figura 6.

Periodicidade das avaliações	GALFAN® – 5% Al-Zn	GALVALUME® – 55% Al-Zn
Amostras de Galfan® e Galvalume® antes do ensaio de névoa salina	 (a)	 (b)
Amostras após 250 horas em ensaio de névoa salina, revelando em vários pontos o aparecimento de oxidação branca e oxidação preta.	 (c)	 (d)
Amostras com 562 horas em ensaio de névoa salina, revelando em vários pontos o aparecimento de oxidação vermelha apenas no Galfan®	 (e)	 (f)
	GALVALUME® – 55% Al-Zn	

Amostra com 1344 horas de ensaio com pontos de oxidação branca e preta, porém sem oxidação vermelha.



(g)

Figura 6: Comparação de desempenho entre o Galfan[®] e o Galvalume[®] na câmara de névoa salina do laboratório da CSN – PR

A Figura 6(a) mostra o Galfan[®] antes de ser submetido ao ensaio de névoa salina. Observa-se uma superfície com tonalidade cinza e sem imperfeições superficiais e, como característica desse produto, ausência de cristais. A Figura 6(b) mostra o Galvalume[®] antes de ser submetido à câmara de névoa salina. Observa-se uma superfície com tonalidade cinza, sem imperfeições superficiais e com presença dos cristais característicos desse produto.

A partir da 1^a avaliação, realizada após 250 horas de ensaio, pode-se observar o aparecimento de pontos de corrosão branca em toda sua superfície da amostra de Galfan[®] devido ao processo de corrosão do zinco, Figura 6(c). Esta corrosão ocorre devido ao processo de proteção catódica, onde o zinco oxida preservando as características do substrato (aço). É importante lembrar que neste momento o revestimento está em processo de perda de massa, isso significa que a camada de revestimento está sendo consumida e o substrato tende a ficar com menor proteção ao passar do tempo. A partir da Figura 6(d) verificou-se corrosão negra em toda a superfície da amostra de Galvalume[®] exposta ao mesmo tempo de ensaio. Essa camada de óxidos é impermeável e aderente, formando uma barreira mecânica que reduz os efeitos do meio corrosivo sobre o revestimento, retardando o processo de corrosão. Essa oxidação negra observada é típica do revestimento 55%Al-Zn quando este não recebe tratamento superficial de passivação. Conforme citado no item 5, o Galvalume[®] recebeu apenas uma camada leve de óleo protetivo.

A partir da 2^a avaliação, realizada após 562 horas de ensaio, observou-se o surgimento de vários pontos esparsos de corrosão vermelha (corrosão do aço base) na amostra de Galfan[®], Figura 6(e). A presença de corrosão vermelha foi caracterizada através de análise por absorção atômica dos pontos de coloração avermelhada que indicou a presença de 80% de ferro. A área indicada na Figura 6(e) destaca a região com maior concentração de pontos de oxidação. Observou-se uma coloração mais clara dos produtos de oxidação da amostra de Galvalume[®], Figura 6(f) quando comparada com a amostra da Figura 6(d). Observa-se que não há presença de oxidação vermelha na amostra de Galvalume[®], mas somente pontos de oxidação inerentes a oxidação do zinco e alumínio presentes no revestimento.

Uma vez que a amostra de Galfan[®] apresentou corrosão vermelha/oxidação do aço base após 562 horas de ensaio, somente a amostra de Galvalume[®] foi mantida na câmara de névoa salina. Nova avaliação foi realizada na amostra de Galvalume[®] após 1344 horas de ensaio. Verificou-se o aumento da área com oxidação e a formação de irregularidades na superfície, mas não foi verificada corrosão do aço base (corrosão vermelha), Figura 6(g).

Como resultado geral, pode-se citar que as amostras de aço revestido com a liga 55%Al-Zn superaram as amostras de aço revestido com a liga 5%Al-Zn em câmara de névoa salina.

7 CONCLUSÃO

A partir do trabalho realizado, pode-se concluir que:

- Foi possível o desenvolvimento de características mecânicas da chapa de aço revestido com a liga 55%Al-Zn equivalentes ao aço importado revestido com a liga 5%Al-Zn, atendendo plenamente a processabilidade no cliente;
- Os ensaios gravimétricos mostraram espessuras de revestimento equivalentes, entretanto, as amostras de aço revestidas com a liga 55%Al-Zn apresentaram desempenho superior em câmara de névoa salina indicando ganho no desempenho para o usuário final;
- O trabalho mostrou excelente desempenho das amostras de aço revestidas com a liga 55%Al-Zn para utilização em coletores utilizados em sistemas de refrigeração de automóveis, destacando um novo potencial de utilização para este produto – a substituição das chapas de aço revestidas com a liga 5%Al-Zn importadas – em partes utilizadas na indústria automobilística.

REFERÊNCIAS

- 1 TOWNSEND, H. E. **Continuous Hot Dip Coatings**, ASM Handbook, vol 5 - Surface Engineering, pp.339 – 348, 1993.
- 2 **55% Aluminium-zinc Coated Sheet Steel Marketing Manual**, BIEC International Inc, BHP Steel, Austrália, 1994.
- 3 **BIEC International, Research and Technology Manual**, Aluminum-Zinc Coated Sheet Steel, 1994.
- 4 **BIEC International, Operating Technology Manual**, Aluminum-Zinc Coated Sheet Steel, 1994.
- 5 CONI, N. H. da S. **Estudo das Propriedades Mecânicas do Aço Zincado por Imersão à Quente e Galvalume[®] produzidos na CSN-PR**. Tese de Mestrado, PIPE – Programa Interdisciplinar de Pós Graduação em Engenharia, UFPR, 2004.
- 6 BENDER, W. D.; SCHEID, A. **55%Al-Zn Coated Steel (Galvalume[®]). One of the fastest growing steel products**. 43^o Seminário de Laminação, ABM, Curitiba - 2006