

# GALVANIZAÇÃO A QUENTE COM LIGA 55%Al-Zn: UMA NOVA ALTERNATIVA PARA O MERCADO BRASILEIRO DE AÇOS PLANOS<sup>1</sup>

*José Eduardo Ribeiro de Carvalho<sup>2</sup>  
Nicodemos Henrique da Silva Coni<sup>3</sup>  
Adriano Scheid<sup>4</sup>  
Alberto Nei Carvalho Costa<sup>5</sup>*

## Resumo

Neste trabalho são apresentadas informações sobre a produção do aço revestido com a liga 55% Al-Zn (Galvalume<sup>®</sup>) no mundo. É apresentada ainda uma descrição sucinta das principais etapas de fabricação do Galvalume<sup>®</sup> na Linha de Galvanização Contínua da CSN, com início de operação em agosto de 2003 em Araucária-PR. Uma avaliação das propriedades mecânicas obtidas para Galvalume<sup>®</sup> produzido na linha visando atendimento dos requisitos de normas técnicas também é realizada. Com relação às características do produto, é dada ênfase na microestrutura da camada de revestimento e sua relação com o mecanismo de corrosão. Com base nos resultados já alcançados na produção do Galvalume<sup>®</sup> e suas aplicações, já foi possível comprovar a grande potencialidade do produto nos segmentos da construção civil, utilidades domésticas, bem como no setor automobilístico.

**Palavras-chave:** Galvalume<sup>®</sup>; Microestrutura; Corrosão; CSN-PR.

<sup>1</sup> 42º Seminário de laminação – Processo e Produtos Laminados e Revestidos – 25 a 28 de outubro de 2005 – Santos - SP – Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Metalúrgico, M.Sc, Coordenador de Projetos, Desenvolvidos de Produtos- CSN;

<sup>3</sup> Engenheiro Metalúrgico, M.Sc, Engenheiro de desenvolvimento, CSN-PR;

<sup>4</sup> Engenheiro Metalúrgico, M.Sc, Coordenador de Qualidade CSN-PR;

<sup>5</sup> Engenheiro Químico, M.Sc, Engenheiro de desenvolvimento, CSN.

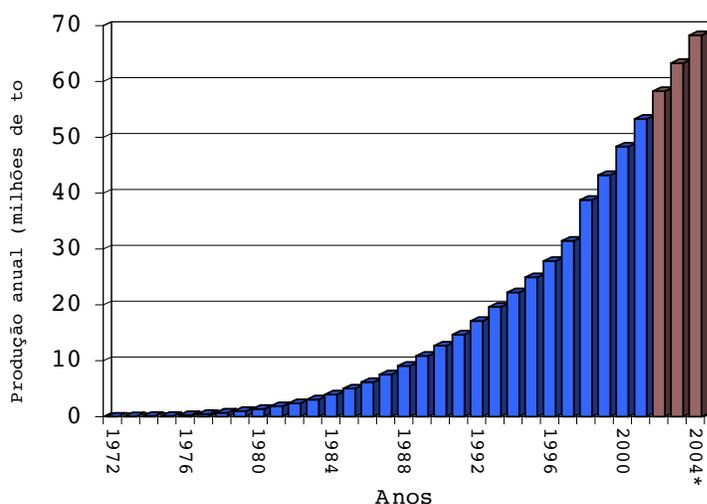
# 1 INTRODUÇÃO

A CSN, estando alinhada com as modernas tendências de utilização do aço galvanizado no mundo, as quais também consideram, os aspectos de preservação ambiental, e sendo produtora desses materiais desde o início da década de 70, tem ao longo desses anos, implementado grandes empreendimentos, buscando não somente o aumento da capacidade de produção, como também a atualização tecnológica. A partir desses investimentos concretizados no final de 2003, a empresa tornou-se, de maneira isolada uma das maiores produtoras de aços galvanizados por imersão à quente do mundo, contando hoje com 7 linhas de galvanização, atingindo uma capacidade nominal de quase 2 milhões de toneladas por ano.

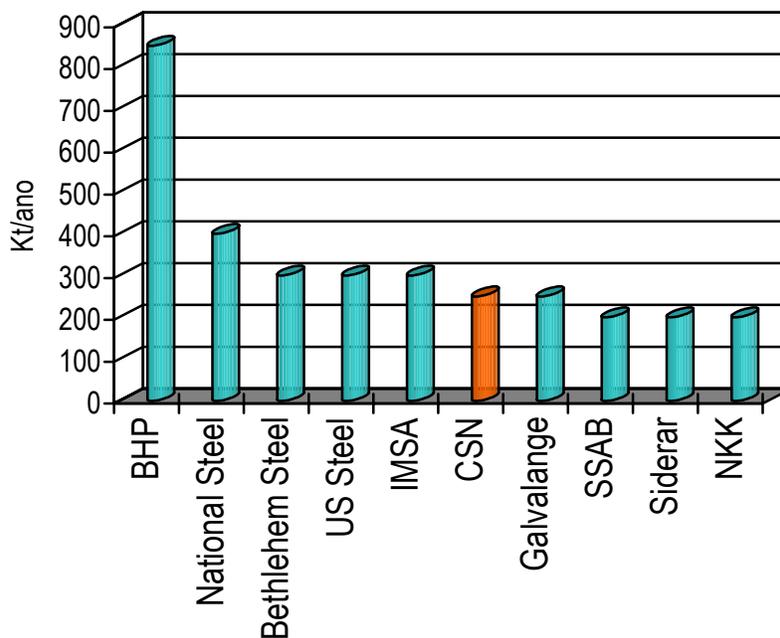
No caso do atendimento pleno aos segmentos da construção civil e utilidades domésticas, destaca-se a implantação da CSN-PR localizada na cidade de Araucária no estado do Paraná, com início de operação em agosto de 2003, onde são produzidos materiais galvanizados (revestidos com zinco puro) e Galvalume® (revestimento com liga 55%Al-Zn) além de galvanizados ou Galvalume® pré-pintados.

O Galvalume®, principal produto da linha de galvanização da CSN-PR foi inicialmente desenvolvido pela “Bethlehem Steel Corporation – USA”, sendo comercializado primeiramente nos EUA em 1972. A tecnologia, que é licenciada pela “BIEC International Inc”, empresa atualmente ligada à Bluescope Steel - Austrália, e que controla o “know-How” e patentes associados ao aço com revestimento da liga 55% alumínio-zinco. Tal tecnologia já está sendo empregada por 45 companhias siderúrgicas do mundo, inclusive a CSN. O produto está disponível no mercado internacional sob diferentes nomes comerciais. Os mais conhecidos são: GALVALUME, ZINCALUME, ALUZINK, ALUZINC, ZINTRO-ALUM, ALGAFORT, ZALUTITE, CINCALUME.

A Figura 1 apresenta a evolução de produção de Galvalume® no mundo a partir de seu início de produção em escala industrial em 1972. A Figura 2 apresenta os principais produtores do mundo e a posição da CSN entre eles.



**Figura 1.** Evolução da produção de Galvalume® no mundo.



Principais fornecedores de Galvalume no mundo

**Figura 2.** Principais produtores de Galvalume® no mundo.

Neste trabalho será apresentada uma breve descrição das principais etapas de fabricação do Galvalume®, os resultados de propriedades mecânicas alcançados a partir de seu início de produção, as principais características do produto e suas aplicações potenciais.

## 2 PRINCIPAIS ETAPAS DO PROCESSAMENTO DO GALVALUME® NA CSN-PR

A linha de galvanização contínua da CSN-PR foi projetada para a produção tanto de produtos galvanizados convencionais quanto do Galvalume® dentro do conceito “Dual Purpose”. Para isto a linha possui 2 potes que se movimentam perpendicularmente à direção da tira em produção. As características técnicas principais da linha estão apresentadas resumidamente na Tabela 1.

**Tabela 1.** Características Técnicas Principais da Linha de Galvanização.

<b>Características Técnicas Principais</b>		
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 <sup>2</sup> /face
	55%Al-Zn	50/100g/m <sup>2</sup> /face
Passivação		Cromatização / Resina Acrílica

A linha possui todos os recursos necessários à produção de aço galvanizado, com a inserção de outros específicos para a produção do Galvalume<sup>®</sup>. As principais etapas do processo de fabricação do Galvalume<sup>®</sup> estão apresentadas a seguir:

Logo após a passagem da tira laminada a frio pela desenroladeira e máquina de solda, o material é submetido ao processo de limpeza alcalina que é composto por três etapas, sendo a primeira uma seção de Limpeza Química onde se processa a aspersão de um desengraxante alcalino, a base de hidróxido de sódio, sobre a tira, para reagir com os óleos (vegetal ou animal) presentes na superfície da tira. Após esta, a tira é submetida a uma Limpeza Eletrolítica, onde a ação de limpeza ocorre por meio de reações eletroquímicas provocadas pela passagem da tira entre eletrodos, promovendo a emulsificação dos resíduos oleosos em ambas as faces da tira. Ocorre também geração de gases, que auxiliam, por ação mecânica adicional, a remoção dos resíduos mais aderentes à superfície da tira. Após a limpeza eletrolítica a tira sofre limpeza por ação mecânica por meio da passagem por um conjunto de rolos escovadores. Por fim a tira é submetida a ação de um sopro de ar aquecido, para secagem.

Após a operação de limpeza, a tira é submetida ao forno de recozimento onde se desenvolvem os diferentes ciclos térmicos para a produção das diferentes qualidades de materiais galvanizados, tais como: comercial, estampagem média, profunda ou extra-profunda, além do grau estrutural. O forno está dividido nas seguintes zonas: zona de pré-aquecimento, zona de aquecimento por chama direta, zona de aquecimento e encharque por tubos radiantes, zona de resfriamento controlado e zona de resfriamento rápido.

As temperaturas de recozimento para produção de galvanizado e Galvalume<sup>®</sup> são similares. As taxas de resfriamento, porém são menores para o Galvalume<sup>®</sup> já que a tira deve atingir o banho a uma temperatura superior a do material galvanizado convencional.

Após recozimento, a temperatura da tira é controlada para atingir um valor adequado para imersão no banho de liga 55%Al-Zn. A temperatura da liga 55%Al-Zn no pote é de aproximadamente 600°C, sensivelmente superior à temperatura do zinco fundido para produção de galvanizado, que é de aproximadamente 465°C. A viscosidade da liga 55%Al-Zn é sensivelmente menor que a do zinco, resultando em menores espessuras da camada primária de revestimento, logo após a imersão.

Dois diferentes lingotes são necessários para a formação da liga 55%Al, 43,5%Zn e 1,5%Si que são o zinco “High Grade” e o alumínio contendo 3% Si. Estes lingotes são fundidos em um pote de pré-fusão e a liga fundida é transferida para o pote principal por gravidade, através de uma bica de vazamento que é mantida aquecida por meio de resistências elétricas.

A “dross”, que é formada no pote principal, em geral se apresenta sob a forma de partículas muito pequenas que ficam distribuídas no banho de metal líquido. Durante a produção de Galvalume<sup>®</sup>, a formação de “top dross” é muito pequena quando comparada com a gerada no processo de galvanização convencional. O alumínio presente no banho tende a se oxidar formando uma película impermeável de óxido que impede a continuação da oxidação do banho.

Diferentemente do processamento do material galvanizado convencional, durante o processamento do Galvalume<sup>®</sup>, ocorre a formação adicional de “bottom

dross” que por possuir aproximadamente 15% de ferro, possui densidade maior que a do banho 55%Al-Zn.

O controle da espessura da camada de revestimento é realizado de forma similar ao galvanizado comum. Entretanto, como a viscosidade da liga 55%Al-Zn é sensivelmente inferior à do zinco, caso se mantenha todos os parâmetros de processo constantes, a pressão de ar necessária na navalha para retirar o excesso do revestimento 55%Al-Zn é aproximadamente 1/5 daquela necessária para a retirada do excesso de zinco durante produção do galvanizado.

Os cristais de Galvalume<sup>®</sup> são normalmente menores que os cristais do material galvanizado convencional (cristais normais, sem minimização). Para o Galvalume<sup>®</sup>, o tamanho dos cristais se encontra entre 1 e 3mm e, assim como no galvanizado, sofre influência de variações na espessura e na rugosidade da tira laminada a frio.

Durante a produção do Galvalume<sup>®</sup>, uma maior taxa de resfriamento é requerida após a passagem da tira pelo pote, quando comparada à produção de galvanizado convencional, pelas seguintes razões:

- Necessidade de resfriamento adicional para compensar maior temperatura da liga 55%Al-Zn – 600°C;
- Deve-se atingir taxa de resfriamento mínima de 11°C/s durante toda a faixa de solidificação do revestimento a partir da temperatura do banho (até 370°C) a fim de se obter um produto de melhor resistência à corrosão, conferida por uma adequada microestrutura do revestimento.

Após o resfriamento da tira para temperatura da ordem de 40°C, esta passa por uma seção de tratamento químico. Nesta seção, a aplicação da solução de tratamento químico é feita por meio do sistema de dois rolos aplicadores (“roll coaters”) em passe vertical, para aplicação de um filme de cromato ou de resina acrílica nas duas faces da tira, com a finalidade de aumentar a resistência do Galvalume<sup>®</sup> à formação de manchas, principalmente em ambientes úmidos, nas etapas subseqüentes à produção, estocagem e transporte, preservando assim o aspecto superficial das chapas. A resina acrílica tem a função adicional de reduzir o coeficiente de fricção entre a tira e as ferramentas de conformação, nos processos de “roll forming”, funcionando dessa forma como um lubrificante.

### **3 PROPRIEDADES MECÂNICAS OBTIDAS DURANTE PRODUÇÃO DO GALVALUME<sup>®</sup> NA CSN-PR**

A Linha de Galvanização Contínua da CSN-PR, desde o seu início de produção em agosto de 2003, vem produzindo uma grande variedade de especificações, tanto para o mercado interno quanto para o externo. O Galvalume<sup>®</sup> produzido na CSN-PR com qualidades comerciais, tais como ASTM A-792 CSA e CSB vem sendo extensamente consumidos no mercado da construção civil no Brasil. Por outro lado, graus estruturais tem sido alvo de inúmeras demandas, principalmente no mercado externo, onde a aplicação já está consolidada.

Os aços revestidos com a liga 55%Al-Zn nas qualidades média e alta resistência para usos estruturais, (ASTM A-792 SS50 e SS80) são extensamente aplicados nos mercados Norte Americano, Australiano e Asiático, dentre outros, para

uso na fabricação de estruturas metálicas de alta resistência e, adicionalmente, onde torna-se interessante a maior lucratividade e competitividade para fabricantes de telhas, em relação à concorrência que utiliza qualidades comerciais tradicionais (CSA e CSB). A alta resistência mecânica do produto final permite a utilização de espessuras reduzidas, conferindo elevada relação resistência / peso que leva à redução de peso nas estruturas e maior área recoberta de material. As Tabelas 2 e 3 apresentam as três especificações do Galvalume® comercializadas em maior volume pela CSN-PR no ano de 2004.

**Tabela 2.** Especificações comercializadas em maior volume pela CSN-Paraná.

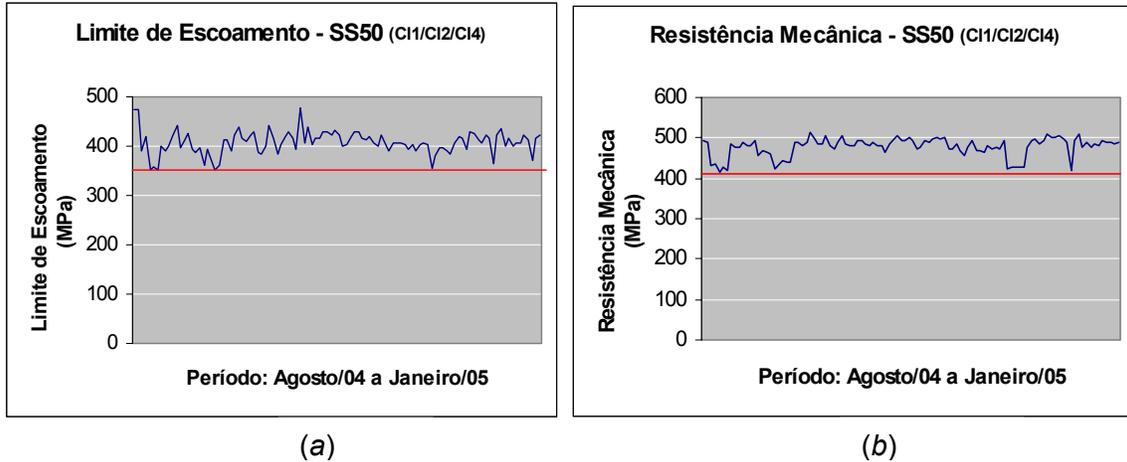
Norma Técnica	Grau	Limite de escoamento (MPa)	Limite de Resistência (MPa)	Alongamento %		
				Espessura (mm)	Base de Medida (mm)	Valor min. (%)
ASTM A-792	CS - A	205/410		Qualquer	50	20
	CS - B	245/410		Qualquer	50	20
	SS50(340) Class 1	345 mín	450 mín	Qualquer	50	12
	SS50(340) Class 2	345 mín		qualquer	50	12
	SS50(340) Class 4	345 mín	415 mín	qualquer	50	12
	SS80 (550)	550 mín	570 mín			

**Tabela 3.** Especificações para massas de revestimento comercializadas em maior volume para o Galvalume CSN.

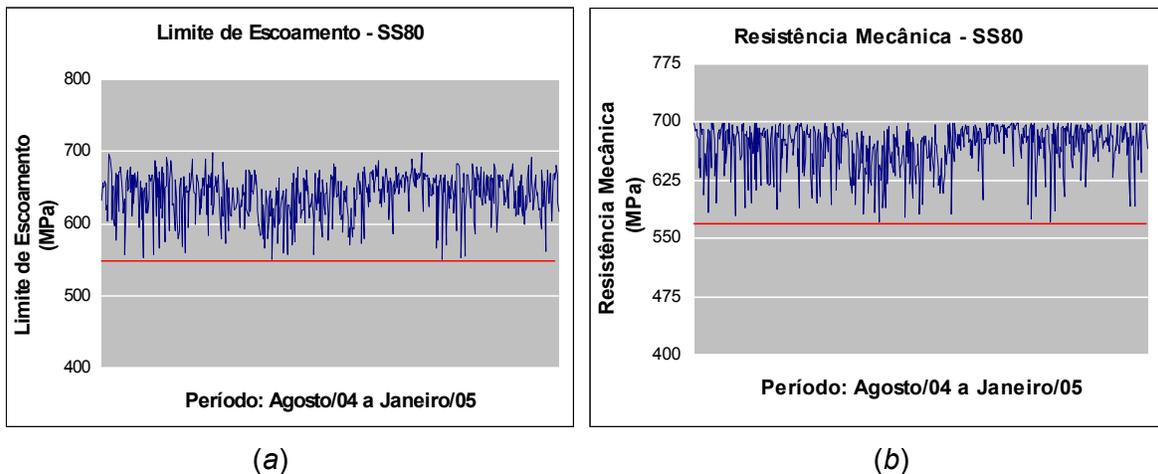
NORMA	TIPO	MASSA MÍNIMA DE REVESTIMENTO (g/m <sup>2</sup> )		
		POR FACE	ENSAIO INDIVIDUAL	MÉDIA do ENSAIO TRÍPLO
ASTM-A-792 M	AZM 150	65	130	150
	AZM 165	75	150	165
	AZM 180	77	155	180
ASTM-A-792	AZ50	65	130	150
	AZ55	75	150	165

A partir do controle estatístico de processo / produto, a CSN Paraná garante a qualidade de seus produtos e promove a satisfação dos clientes pela garantia de fornecimento em conformidade com as mais rígidas normas internacionais.

As Figuras 3a e 3b mostram resultados típicos do limite de escoamento e limite resistência à tração obtidos para o grau SS50 e as Figuras 4a e 4b mostram estas mesmas propriedades mecânicas obtidas para o Grau SS80 abrangendo produção de agosto de 2004 até Janeiro de 2005, onde pode-se observar o pleno atendimento das rigorosas exigências feitas pelas normas.



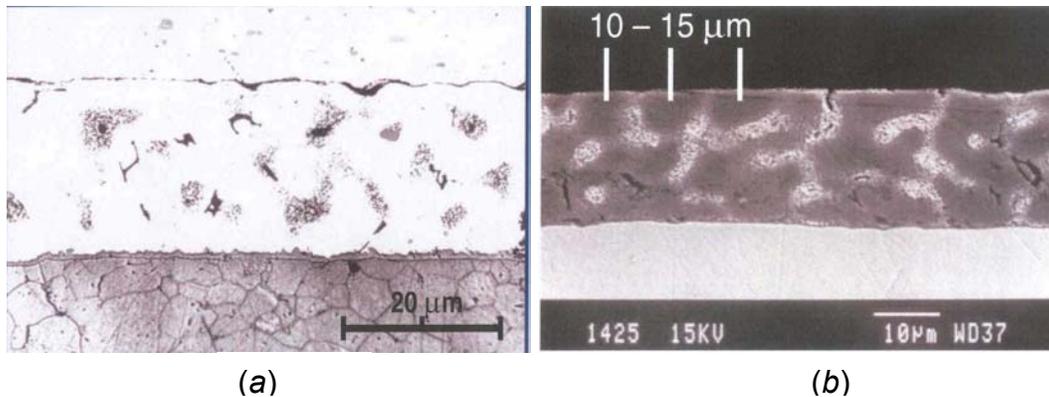
**Figura 3.** Propriedades mecânicas atingidas para o grau SS50. (a) limite de escoamento (b) limite de resistência à tração.



**Figura 4.** Propriedades mecânicas atingidas para o grau SS80. (a) limite de escoamento (b) limite de resistência à tração.

#### 4 MICROESTRUTURA E MECANISMO DE CORROSÃO DO REVESTIMENTO DE LIGA 55%AL-ZN

A microestrutura do revestimento 55%Al/Zn é constituída de uma fase dendrítica (rica em alumínio) e uma fase interdendrítica (rica em zinco). A distribuição destas fases na camada de revestimento depende principalmente da taxa de resfriamento e é determinante na resistência a corrosão. Esta distribuição pode ser caracterizada por meio de um parâmetro denominado “DAS” (Dendritic Arm Space) que corresponde ao espaçamento médio entre as dendritas e possui valores considerados ideais entre 10-15 $\mu\text{m}$ . As Figuras 5a e 5b mostram microestruturas do Galvalume<sup>®</sup> obtidas por microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura respectivamente. O parâmetro DAS pode ser observado na Figura 5b. A formação da camada de liga intermetálica é extremamente rápida, e tem início logo que a chapa imerge no banho fundido e apresenta em média uma espessura de 1-2  $\mu\text{m}$ .



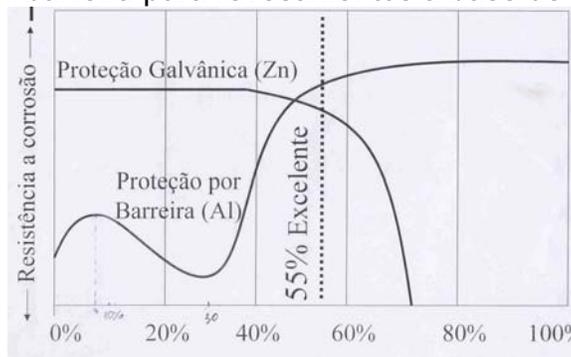
**Figura 5.** Microestruturas típicas da seção transversal do Galvalume<sup>®</sup> obtidas por (a) microscopia óptica. (b) microscopia eletrônica de varredura.

O processo de corrosão do revestimento 55% Al – Zn é controlado inicialmente pela velocidade de corrosão do zinco. Neste 1º estágio ocorre então a corrosão preferencial, da fase rica em zinco. Em um segundo estágio ocorre passivação da fase rica em zinco e o processo de corrosão passa a ser controlado pela fase rica em alumínio explicando a menor taxa de corrosão da liga 55% Al – Zn, quando comparada ao revestimento de zinco puro.

Em geral, nos meios atmosféricos a taxa de corrosão do zinco puro segue uma lei linear ao longo de todo o tempo de exposição, enquanto que para o revestimento 55% Al – Zn, nos três primeiros anos, a taxa de corrosão é determinada pela região rica em zinco, sendo em seguida controlada pela corrosão da região rica em alumínio da camada da revestimento.

A proteção galvânica oferecida pelo revestimento 55% Al-Zn é ligeiramente menor do que o revestimento de zinco puro. Entretanto, na prática, a proteção oferecida pelo revestimento 55% Al-Zn, em pequenas discontinuidades (risco, bordas, etc.), é plenamente satisfatória.

Teores de Alumínio mais elevados que 55% diminuem a proteção galvânica, sendo esta uma significativa desvantagem do revestimento de alumínio puro (aço aluminizado), quando comparado ao aço galvanizado e Galvalume<sup>®</sup>. Portanto o aço revestido com a liga 55%Al-Zn reuni num mesmo produto os mecanismos de proteção galvânica e por barreira. A figura 6 apresenta o gráfico da correlação de proteção galvânica e proteção por barreira para revestimentos a base de alumínio – zinco.



**Figura 6.** Correlação de proteção galvânica e por barreira para revestimentos de alumínio – zinco.

## 5 PRINCIPAIS APLICAÇÕES POTENCIAIS DO GALVALUME®

A Figura 7 apresenta o gráfico do consumo do Galvalume® em diversos setores de aplicação. Pode-se constatar a utilização intensiva no segmento de construção civil, devido a principal vantagem da liga 55%Al-Zn, que é a superior resistência à corrosão.

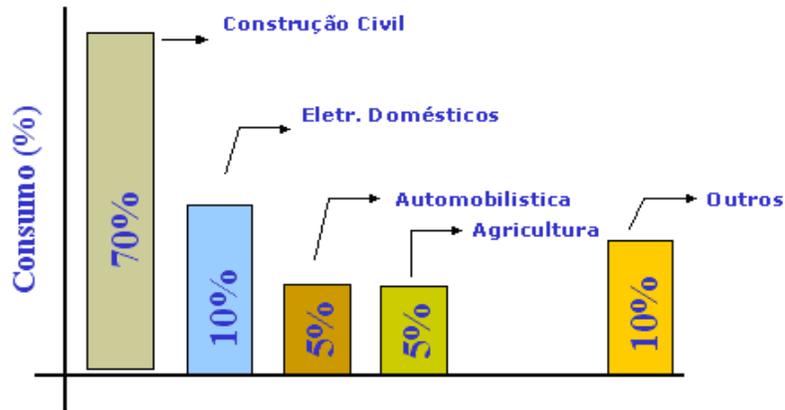


Figura 7. Consumo de Galvalume® em diversos setores de aplicação.

## 6 CONCLUSÃO

O Mercado de construção civil apresenta demanda crescente pelo Galvalume, produto inovador que oferece excelente resistência a corrosão e pode ser fornecido para atendimento a diversas aplicações onde são necessários aços revestidos de alta qualidade e com diferentes níveis de propriedades mecânicas. Com base nos resultados até então alcançados pela CSN/PR na fabricação de Galvalume, pode -se concluir que esta empresa, tem a plena capacidade para produção de galvalume classe mundial com significativo impacto no crescimento do mercado brasileiro de aços pré-revestidos.

### Agradecimentos

Ao engenheiro Marcio Frazão Guimarães Lins, Gerente Geral de Operações da Unidade, pelo seu papel de idealizador e implementador do projeto CSN-PR além de suas contribuições técnicas importantes na elaboração deste trabalho.

### REFERÊNCIAS

- 1 CLEARY, H. J. The microstructure and corrosion resistance of 55% Al-Zn coatings on sheet steel. 55% Aluminum-Zinc coated sheet steel research and technology manual – BIEC International INC;
- 2 Carvalho, José Eduardo Ribeiro; **O processo contínuo de galvanização por imersão a quente**- Metalurgia & Materiais; São Paulo, março de 2002.
- 3 **Production Technology Transfer**; Relatório Interno; Araucária, abril de 2002.
- 4 **55% Aluminium-zinc Coated Sheet Steel Research and Technology Manual**; BIEC International Inc, BHP Steel, Austrália, 1994.

# HOT- DIP 55 % ALUMINUM - ZINC ALLOY: A NEW ALTERNATIVE FOR THE BRAZILIAN COATED STEEL MARKET <sup>1</sup>

*José Eduardo Ribeiro de Carvalho*<sup>2</sup>  
*Nicodemos Henrique da Silva Coni*<sup>3</sup>  
*Adriano Scheid*<sup>4</sup>  
*Alberto Nei Carvalho Costa*<sup>5</sup>

## **Abstract**

In this paper is presented some information concerning the production of 55%Aluminum-Zinc Alloy Coated Steel Sheet (Galvalume<sup>®</sup>) around the world. It is also showed a brief description of the main manufacturing steps for producing Galvalume<sup>®</sup> at the new CGL belonging to CSN which is located at Araucária city and had its start of production in august, 2003. An evaluation of the mechanical properties achieved for the Galvalume<sup>®</sup> produced at this line is also shown. Concerning the features of the product, it is mainly considered the microstructure of coating layer and its relationship with corrosion mechanism. According to the obtained results in the production of the material and its applications, it was possible to confirm the great potentiality of this material in the civil construction, electrical appliances as well as in the automotive applications.

**Key words:** Galvalume<sup>®</sup>; Corrosion; CSN-PR; Microstructure.

<sup>1</sup> *42<sup>nd</sup> Rolling Seminar – Proces, rolled and coated products – October 25 to 28, 2005 – Santos - SP – Brazil.*

<sup>2</sup> *Metallurgic Engineer, M.Sc., Project Coordinator, Product Development-CSN;*

<sup>3</sup> *Metallurgic Engineer, M.Sc., Development Engineer, CSN-PR;*

<sup>4</sup> *Metallurgic Engineer, M.Sc., Quality Coordinator, CSN-PR;*

<sup>5</sup> *Chemical Engineer, M.Sc., Development Engineer, CSN.*