

# PRODUÇÃO DE GALVALUME® POR MEIO DA ALIMENTAÇÃO DE LINGOTES NÃO PRÉ - MISTURADOS DIRETAMENTE NO POTE PRINCIPAL<sup>1</sup>

*Nicodemos Henrique da Silva Coni<sup>2</sup>*

*Wellington de Faria Machado<sup>3</sup>*

*Adriano Scheid<sup>4</sup>*

*Leandro Cardoso Padilha<sup>5</sup>*

*Carlos Frederico Rangel Xavier<sup>6</sup>*

## Resumo

Durante produção de aço revestido com a liga 55%Al-Zn, as linhas de processamento realizam a adição de lingotes pré-misturados diretamente no pote principal ou em um pote de pré-fusão ou ainda adicionam lingotes não pré-misturados no pote de pré-fusão. A Linha de Galvanização contínua da CSN-PR é do tipo “Dual Purpose” permitindo a produção de aço galvanizado com revestimentos convencionais (zinco puro) e de liga alumínio-zinco (Galvalume®), por imersão a quente. Durante a produção de Galvalume®, lingotes de zinco e alumínio/silício são adicionados e fundidos no pote de pré-fusão e o metal líquido é transferido para o pote principal. Em setembro de 2005, houve uma falha no refratário do pote de pré-fusão e a CSN realizou estudo e a prática de uma alternativa inédita de alimentação de lingotes não pré-misturados diretamente no pote principal. Neste trabalho serão abordados os principais aspectos tecnológicos que foram estudados e considerados durante essa prática inédita entre os produtores de Galvalume®.

**Palavras-chave:** Galvanização; Galvalume®; Adição de lingotes.

## GALVALUME® PRODUCTION THROUGH NON PREMIXED INGOTS ADDITION DIRECTLY TO THE MAIN POT

### Abstract

The operation of Galvalume® lines has been conducted all over the world by either the addition of zinc pure high grade and aluminum-silicon alloy ingots to the pre-melt pot followed by transferring to the main pot or by addition of premixed ingots directly into the main pot. In September 2005, two years after the line start-up, there was a failure in the pre-melt refractory and CSN started studying new alternatives and decided to try a new technique of Zn-55Al alloy formation, using not premixed ingots directly added to the main pot. In this paper it will be presented the technological subjects CSN has studied in order to keep the line running and to keep the same quality of its products.

**Key words:** Galvanizing; Galvalume®; Ingots addition.

<sup>1</sup> Trabalho a ser apresentado no 43º Seminário de Laminação - Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 17 a 20 de Outubro de 2006 - Curitiba - PR - Brasil.

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

<sup>3</sup> Eng. Metalúrgico, Especialista em Gestão, Coordenador de Produção - Companhia Siderúrgica Nacional, Curitiba/PR

<sup>4</sup> Engenheiro Metalúrgico, MSc em Ciências dos Materiais e Especialista em Galvanizados e Pré-Pintados - Companhia Siderúrgica Nacional, Curitiba/PR

<sup>5</sup> Técnico em Mecânica, Técnico de Desenvolvimento da Linha de Galvanização - Companhia Siderúrgica Nacional / Curitiba/PR

<sup>6</sup> Eng. Eletrônico, MSc Engenharia de Produção, Gerente de Produção - Companhia Siderúrgica Nacional, Curitiba/PR

## 1 INTRODUÇÃO

Galvalume<sup>®</sup> é a chapa de aço revestido com a liga 55%Al-Zn, aplicada por meio de imersão a 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 revestimento semelhantes.

A CSN possui uma unidade de produção em Araucária que é equipada com uma linha de decapagem “Push Pull”, um laminador reversível, uma linha de galvanização contínua, uma linha de pintura contínua e um centro de serviços. A linha de galvanização contínua teve seu início de operação em julho/2003 produzindo aços revestidos com zinco. O início da produção de Galvalume<sup>®</sup> ocorreu em outubro/03 para suprimento principalmente do mercado brasileiro e americano.

Durante produção de Galvalume<sup>®</sup> os lingotes de zinco e alumínio/silício são alimentados e fundidos em um pote de pré-fusão e o metal fundido é então transferido para o pote principal onde é aplicado à superfície da tira metálica. Em outras linhas de produção de Galvalume<sup>®</sup> ao redor do mundo, utilizam-se variantes como a utilização de lingotes pré-misturados alimentados em potes de pré-fusão ou diretamente no pote principal.

Vários parâmetros ligados à manutenção do banho de metal fundido são importantes na produção de Galvalume<sup>®</sup> tais como a homogeneidade da liga, temperatura da liga e temperatura da tira na entrada do pote que trabalhados de maneira correta promovem microestrutura adequada do revestimento e taxas mínimas de geração de “dross”.

Em setembro/05 houve falha do refratário do pote de pré-fusão, o que acarretaria parada da linha de galvanização por período de 10 dias. Foi realizada então análise e prática da alimentação de lingotes não pré-misturados diretamente no pote principal após análise crítica das alterações dos parâmetros de processo e suas influências nas propriedades do produto final.

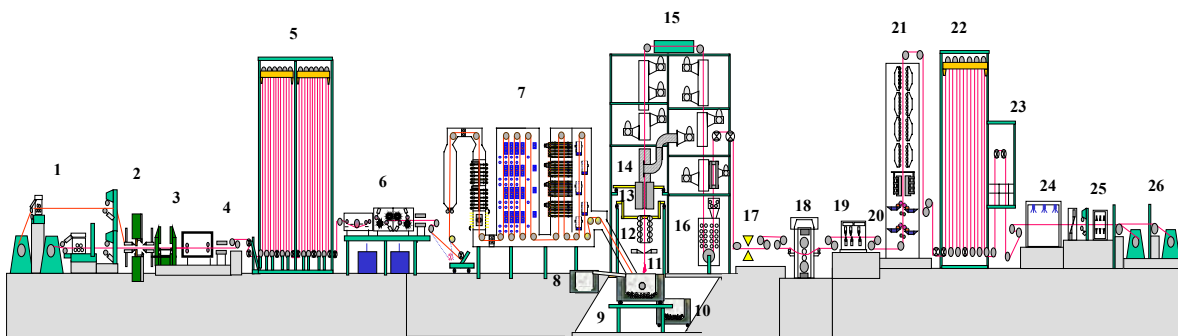
## 2 LINHA DE PROCESSAMENTO “DUAL PURPOSE”<sup>(1-4)</sup>

A linha de galvanização contínua da CSN-PR foi projetada para a produção tanto de produtos galvanizados convencionais quanto do Galvalume<sup>®</sup> dentro do conceito “Dual Purpose”. Para isto a linha possui dois potes que se movimentam perpendicularmente à linha. As características técnicas principais da linha estão apresentadas resumidamente na Tabela 1 e a Figura 1 mostra esquematicamente o arranjo geral da linha.

A linha possui todos os recursos necessários à produção de galvanizados, com a inserção de outros específicos para a produção do Galvalume<sup>®</sup>.

**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	



**Figura 1.** Arranjo geral da Linha de Galvanização (esquemático)

1-Desenroladeiras; 2-Máquina de solda; 3-Entalhador; 4-Pré-limpeza; 5-Acumulador de entrada; 6-Limpeza eletrolítica; 7-Forno de recozimento; 8-Pote de pré-fusão; 9-Pote de liga 55%Al-Zn; 10- Pote de zinco; 11-Navalha de ar; 12-Pré-cooler; 13-Minimizador de cristais; 14-Resfriador nº1; 15-Torre de resfriamento; 16-Quench Tank; 17-Medidor de espessura; 18-Laminador de encruamento; 19-Estiradeira por tensão; 20-Tratamento químico; 21-Torre de cura; 22-Acumulador de saída; 23-Inspeção vertical; 24-Inspeção horizontal; 25-Oleadeira; 26-Enroladeiras.

As seções principais da linha com seus equipamentos serão sucintamente descritos abaixo.

## 2.1 Seção de Entrada

Nesta seção realiza-se o abastecimento da linha com bobinas laminadas a frio, corte das pontas das bobinas que estão fora da bitola e solda de sucessivas pontas e caudas das bobinas garantindo a contínua passagem da tira pela linha de galvanização.

## 2.2 Seção de Limpeza

É composta por três etapas, sendo a primeira uma seção de Limpeza Química onde se processa a aspersion de um desengraxante alcalino (a base de soda cáustica - NaOH) 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 através da passagem por um conjunto de rolos escovadores. Por fim a tira é secada por sopro de ar aquecido, estando preparada para a seção seguinte.

### **2.3 Forno de Recozimento**

Os principais propósitos do forno de recozimento numa linha de galvanização são:

- Evaporação dos resíduos oleosos presentes na superfície da tira, que não tenham sido removidos em estágios anteriores;
- Redução dos eventuais filmes de oxidação presentes na superfície da tira, por meio de reações com uma atmosfera redutora;
- Tratamento térmico de recozimento da tira laminada a frio, a fim de se obter propriedades mecânicas preestabelecidas;
- Proporcionar à tira uma temperatura adequada para imersão no banho de metal líquido.

O forno de recozimento da CSN/PR foi projetado para a produção nos graus comercial, estampagem média, profunda ou extra-profunda, além do grau estrutural. Este está dividido nas seguintes zonas: zona de pré-aquecimento (pre-heater section - PHS), zona de aquecimento por chama direta (Direct Fired Furnace - DFF), zona de aquecimento e encharque por tubos radiantes (Heating and Soaking Radiant Tube Furnace - RTF), zona de resfriamento controlado (slow cooling section - SCS) e zona de resfriamento rápido (Jet cooling section - JCS).

O ciclo térmico é definido em função do tipo de aço processado, visando obter as propriedades mecânicas requeridas pelo produto. 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 ao do zincado.

### **2.4 Potes de zinco e Liga 55%Al-Zn**

Após recozimento, a temperatura da tira é controlada para atingir um valor adequado para imersão no banho de zinco ou de liga 55%Al-Zn. Após este controle de temperatura, a tira é guiada através de um túnel de imersão (snout) para o pote de metal fundido, no qual a camada metálica é aplicada. A temperatura da liga 55%Al-Zn no pote é de 600°C, sensivelmente maior que a temperatura do zinco fundido para produção de galvanizado, que é de 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.

### **2.5 Controle de Revestimento**

A espessura da camada de revestimento a ser depositada é controlada utilizando um sistema de sopro de ar a temperatura ambiente, aplicado através de bocais de alta precisão (navalhas de ar) alimentados por dois sopradores, logo que a tira emerge do banho de zinco. A espessura do

revestimento é função principalmente da velocidade da linha, pressão do ar, distância entre as navalhas e a tira e distância das navalhas à superfície do banho. Como a viscosidade da liga 55%Al-Zn é sensivelmente inferior à do zinco, caso se mantenha todos os parâmetros constantes, a pressão de ar necessária na navalha de ar 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.

## 2.6 Minimização de Cristais

Logo após as navalhas de ar, a tira zincada pode receber um tratamento de minimização de cristais do revestimento, no qual se sopra ar contendo minúsculas partículas de zinco em ambas as faces da tira. Como resultado se altera a aparência dos cristais de zinco que seriam obtidos sem este tratamento. A aplicação do pó de zinco deve ser realizada no limiar da solidificação do revestimento. Para chapas de maior espessura este limiar fica localizado a uma distância (altura) maior em relação ao pote. Por esse motivo, a linha de galvanização conta com um equipamento chamado pre-cooler, localizado logo abaixo do minimizador de cristais, e tem a função de reduzir a altura da linha de solidificação do revestimento e também reduzir a diferença de temperatura entre as bordas e o centro da tira.

Os cristais de Galvalume<sup>®</sup> são normalmente bem menores que os cristais do zincado (cristais normais, sem minimização). Para o Galvalume<sup>®</sup>, o tamanho dos cristais está entre 1 e 3mm e, assim como no zincado, pode ser afetado por variações na espessura e na rugosidade da tira laminada a frio.

## 2.7 Resfriamento

Durante a produção do Galvalume<sup>®</sup>, resfriamento adicional é requerido após a passagem da tira pelo pote em comparação à produção de galvanizado convencional pelas seguintes razões:

- Necessidade de resfriamento adicional para compensar maior temperatura da liga 55%Al-Zn – 600°C – se comparado com aproximadamente 465°C para galvanizado;
- 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 (entre 600 e 370°C) a fim de se obter um produto de melhor resistência à corrosão, através de uma adequada microestrutura do revestimento. Taxas de resfriamento menores que a especificada resultam em produtos de menor resistência à corrosão.

Na seção de resfriamento complementar, o revestimento é adicionalmente resfriado para aproximadamente 120°C, e depois para aproximadamente 40°C pela passagem em um resfriador a água (“Quench Tank”), no qual se faz a aspersão de água nas duas faces da tira.

## 2.8 Laminação de Encruamento

Após o resfriamento, a tira é processada no laminador de encruamento e desempenadeira por tensão, com os seguintes propósitos :

- Melhoria da qualidade do produto no que se refere as propriedades

mecânicas do material recozido, tendo como principal efeito a eliminação do patamar de escoamento, principalmente para os casos de aço zincado com baixo e extra-baixo carbono.

- Melhoria da rugosidade e brilho superficial. Para realizar este propósito, deve-se controlar a rugosidade dos cilindros de trabalho e a carga de laminação.
- Melhoria das características de forma do material (planicidade);
- Melhoria da aparência superficial através da redução de defeitos (depressões, marcas de rolo, incrustações, etc).

O Laminador de Encruamento é aplicado tanto para o processamento de galvanizado quanto de Galvalume<sup>®</sup> dependendo da aplicação final.

## **2.9 Seção de Tratamento Químico**

Esta seção possui dois aplicadores (“coaters”) em passe vertical, para aplicação de uma película de cromato ou de resina acrílica nas duas faces da tira, com a finalidade de preservar o aspecto superficial das chapas e aumentar a resistência à corrosão do revestimento no caso de exposição a ambientes úmidos. A resina acrílica tem a função adicional de reduzir o coeficiente de fricção entre a tira e as ferramentas de conformação, funcionando dessa forma como lubrificante.

## **2.10 Seção de Saída**

Nesta seção a tira passa por postos de inspeção em passe vertical e horizontal, pode receber filme de óleo protetivo aplicado por uma oleadeira eletrostática, e é enrolada formando as bobinas que são pesadas e embaladas para serem enviadas aos clientes.

## **3 ANÁLISE OPERACIONAL DA PRODUÇÃO DO GALVALUME<sup>®</sup> ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE LINGOTES NÃO PRÉ-MISTURADOS DIRETAMENTE NO POTE PRINCIPAL**

Logo após detecção da falha refratária no pote de pré-fusão através do curto circuito entre o metal fundido e as bobinas de indução eletromagnéticas do pote, realizou-se a substituição do pote de trabalho iniciando-se então a produção de aços galvanizados e esvaziamento do pote de pré-fusão para realização do reparo refratário. Porém o volume de produção de aço galvanizado era relativamente baixo comparado ao número de dias necessários para reparo do pote de pré-fusão. A CSN/PR possuía dois caminhos a seguir: permanecer com a linha parada por período estimado de 10 dias ou realizar a alimentação de lingotes não pré-misturados diretamente no pote principal. Neste item serão abordados os aspectos operacionais estudados e tratados para alimentação de lingotes diretamente no pote principal.

### 3.1 Formação da Liga 55%Al-Zn

Dois diferentes lingotes são necessários para a formação da liga 55%Al-Zn que são:

- a) Zinco High Grade;
- b) Alumínio contendo 3% Si.

Os lingotes são fundidos em um pote de pré-fusão e a liga fundida é transferida para o pote principal por gravidade, através de uma calha de vazamento que é mantida aquecida por meio de queimadores a gás natural.

Outras linhas de produção de Galvalume<sup>®</sup> possuem pote de pré-fusão e utilizam lingotes não pré-misturados (similar a CSN/PR) ou não possuem pote de pré-fusão e utilizam lingotes pré-misturados onde os elementos Al, Zn e Si estão presentes na proporção correta.

Para alimentação dos lingotes diretamente no pote principal foi realizada a montagem de estrutura metálica para fixação duas talhas elétricas.

### 3.2 Homogeneidade da Liga 55%Al-Zn

Quando os lingotes são fundidos no pote de pré-fusão, ocorre a homogeneização da liga antes da transferência do metal fundido para o pote principal. Com a adição de lingotes de Al/Si e Zinco SHG à frente do pote principal, por onde ocorre a passagem da tira metálica, haveria a possibilidade de não ser atingida esta homogeneização, fato de suma importância uma vez que a resistência à corrosão do Galvalume<sup>®</sup> está relacionada a composição química da liga. Para assegurar a homogeneidade da liga foi realizada a instalação de uma placa de aço inoxidável 316L (6mm de espessura) soldada diretamente na base do rolo corretor conforme mostrado na Fig. 2. Dessa forma, o metal fundido percorreria um caminho longo até atingir a chapa de aço e nesse caminho a liga se tornaria homogênea.



**Figura 2.** Rolo corretor com a instalação de placa de aço inoxidável para garantia da homogeneidade do banho.

Durante operação foi verificado que a barreira mecânica, afastada aproximadamente 10mm do “passline” da linha, exercia as seguintes funções secundárias:

- a) Impedir que a dross formada fosse arrastada pela tira o que geraria defeitos de qualidade na superfície do produto revestido;

- b) Evitar choque mecânico entre os lingotes sendo alimentados e a tira metálica. Vale salientar que os lingotes de Al/Si possuem tendência natural a esse fenômeno devido a menor densidade do alumínio em relação ao banho fundido.

### 3.3 Capacidade de Fusão do Pote Principal

Durante operação normal, o pote principal possui a função de manter o banho líquido a temperatura de 600°C enquanto a tira metálica possuindo menor temperatura passa pelo banho fundido. Para produção dos graus recristalizados a temperatura da tira na entrada do pote é de 560°C e para os graus não recristalizados esta temperatura é de 520°C. Durante a alimentação de lingotes diretamente no pote principal, este deveria também realizar a fusão dos lingotes de Al/Si e zinco. Para que o pote principal não trabalhasse com potência muito próxima da máxima, as seguintes ações foram tomadas:

- a) Aumento da temperatura de entrada da tira no pote para 580°C para os graus recristalizados;
- b) Pré-aquecimento com chama oriunda da queima de gás natural;
- c) A produção dos graus não recristalizados foi postergada até o final do reparo do pote de pré-fusão.

### 3.4 Velocidade da Fusão dos Lingotes no Pote Principal

Como a área de fusão dos lingotes ficou restrita à região entre a parede do pote (formato circular) e a chapa de aço inoxidável e mantendo a temperatura do banho a 600°C, foi necessário a alimentação de dois lingotes ao mesmo tempo e utilização de borbulhamento de nitrogênio na região de fusão dos lingotes para se obter velocidades de fusão dos lingotes compatíveis com a velocidade de processamento da linha atingindo 150m/min.

### 3.5 Estrutura Cristalográfica do Revestimento

Galvalume® é a chapa de aço revestido com a liga 55%Al-Zn. Apesar da denominação 55%Al-Zn, o revestimento contém também silício. O revestimento tem como composição média 55%Al, 43,5%Zn e 1,5% Si, e consiste de uma estrutura apresentando três fases principais:

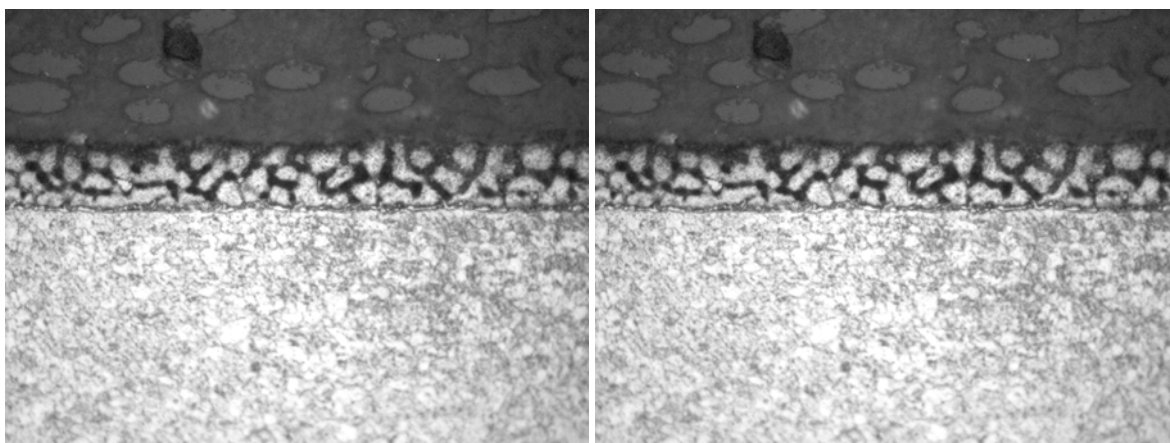
- a) Fina camada intermetálica quaternária constituída de Al, Zn, Fe e Si, entre o aço base e o revestimento;
- b) Fase dendrítica rica em alumínio (cerca de 80% do volume), responsável pela resistência a corrosão;
- c) Fase interdendrítica rica em zinco.

Todas as três fases são importantes para promover a resistência à corrosão desejada. A fase interdendrítica rica em zinco promove proteção galvânica similar aos revestimentos zincados, por sua vez 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.

Logo após a partida da linha com alimentação direta no pote principal, amostras foram coletadas para investigação da microestrutura obtida. A figura 3 mostra algumas micrografias obtidas onde pode-se verificar a correta



formação e distribuição das fases.



**Figura 3.** Fotomicrografias da estrutura do revestimento 55%Al-Zn de amostras coletadas logo após início de produção.

### 3.6 Formação de Dross

A dross é uma borra formada no pote principal sob a forma de partículas muito pequenas disseminadas no banho de metal líquido.

A formação de top dross (dross flutuante) é muito pequena quando comparada com a gerada no processo de galvanização convencional. O alumínio presente no banho tende a se oxidar formando uma nata impermeável de óxido que impede a continuação da oxidação do banho.

Durante o processamento do Galvalume<sup>®</sup>, ocorre formação adicional de bottom dross (dross de fundo) que por possuir aproximadamente 15% de ferro, possui densidade maior que a do banho 55%Al-Zn.

A linha de galvanização da CSN/PR experimenta geração média de 0,5Kg/t de top dross e não experimentou geração de bottom dross em seu pote principal.

As linhas de produção de Galvalume<sup>®</sup> que não possuem pote de pré-fusão e realizam adição de lingotes diretamente no pote principal experimentam maior formação de top e bottom dross devido a fatores como diferenças localizadas de temperatura (no local da alimentação dos lingotes) e conseqüentes reduções das taxas de dissolução de ferro no banho durante as reduções de temperatura.

O efeito da adição de lingotes diretamente no pote principal na geração de bottom dross não foi verificado devido ao pequeno período de operação nesse modo – apenas uma semana. A top dross sofreu um incremento na geração que não foi mensurado.

## 4 CONCLUSÕES

A CSN através da instalação de uma planta industrial localizada em Araucária, possui uma linha de galvanização contínua que é a primeira e única no Brasil onde a chapa de aço revestida com a liga 55%Al-Zn – Galvalume<sup>®</sup> - é produzida.

Após quase dois anos de produção de Galvalume<sup>®</sup>, a CSN sofreu a possibilidade de parada não-programada da sua linha de galvanização

contínua devido a falha refratária no pote de pré-fusão. Uma estratégia inédita entre os produtores de Galvalume<sup>®</sup> foi adotada: a adição de lingotes não misturados diretamente no pote principal. Uma análise detalhada dos parâmetros de processo e suas influências na qualidade do produto final foi realizada. Após o estudo a produção foi realizada com sucesso sem interrupção na produção da linha de galvanização contínua e com manutenção da qualidade assegurada do produto final.

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1 BIEC International Inc, BHP Steel, **55% Alminium-zinc Coated Sheet Steel Operating Technology Manual**; Austrália, 1994.
- 2 BIEC International Inc, BHP Steel, **55% Alminium-zinc Coated Sheet Steel Marketing Manual**, Austrália, 1994.
- 3 BIEC International Inc, BHP Steel, **55% Alminium-zinc Coated Sheet Steel Research and Technology Manual**; Austrália, 1994.
- 4 Relatório Interno; **Galvalume<sup>®</sup> Production Technology Transfer**; Araucária, abril de 2002.