



# UTILIZAÇÃO DE ANODOS INSOLÚVEIS NAS LINHAS DE ESTANHAMENTO ELETROLÍTICO DA CSN<sup>1</sup>

João Carlos Martins do Couto<sup>2</sup>  
Leandro José de Barros Cardoso<sup>2</sup>  
Nelci Fernandes da Silva<sup>3</sup>  
Getúlio Alves Pereira Filho<sup>3</sup>

## Resumo

O estanho corresponde em torno de 7% do custo de produção das folhas-de-flandres. Durante o processo de eletrodeposição do revestimento de estanho, ocorrem perdas que são relativas a um sobre-revestimento e da geração de resíduos no processo, tais como: lama de estanho no fundo dos tanques de solução e as borras de estanho provenientes da refusão de anodos. Este trabalho objetivou a redução das perdas de estanho no processo produtivo das linhas de estanhamento eletrolítico da CSN através da utilização de anodos dimensionalmente estáveis (ADE's). Estes anodos consistem de uma base metálica de titânio revestidos com uma camada de óxidos metálicos à base de IrO<sub>2</sub>, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e TiO<sub>2</sub> aplicada termicamente. A função destes anodos é promover o balanceamento das reações anódicas e catódicas no banho de eletrodeposição de estanho. Foi apurada uma vida útil dos anodos insolúveis variando de quatro a seis meses. A utilização dos anodos insolúveis possibilitou obter uma redução de 40% nas perdas de estanho.

**Palavras-chave:** Folhas-de-flandres; Anodos; Insolúveis.

## USE OF INSOLUBLE ANODE IN CSN ELECTROLITIC TINNING LINE'S

### Abstract

Tin represents around 7% of production cost of tinplate. During the electrodeposition of tin, losses occur due an over-coating and a waste generation in the process, such as the sludge at the bottom of the solution storage tanks and the dross formed on the tin anodes remelting process. This work intend the tin losses reduction in the production process of electrolytic tinning lines of CSN through the use of dimensionally stable anodes (DSA's). These anodes consist of a base metal of titanium coated with of metal oxide based on IrO<sub>2</sub>, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and TiO<sub>2</sub> layer applied thermally. The function of these anodes is to promote the balancing of the anodic and cathodic reactions in the tin electrodeposition bath. It was found a useful life of insoluble anodes ranging from four to six months. The use of insoluble anodes allowed to obtain a 40% reduction in tin losses.

**Key words:** Tinplate; Anodes; Insoluble.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 66º Congresso Anual da ABM, 18 a 22 de julho de 2011, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro de Produção – Estanhamento Eletrolítico - CSN - Volta Redonda - RJ

<sup>3</sup> Técnico de Desenvolvimento – Estanhamento Eletrolítico - CSN – Volta Redonda – RJ

## 1 INTRODUÇÃO

Muitos materiais de embalagens para produtos alimentícios são de folhas-de-flandres, graças a sua boa proteção contra a corrosão e a reduzida toxicidade do estanho. O processo de fabricação das folhas-de-flandres ocorre eletroliticamente, e sobre o aço é eletrodepositado uma fina camada de estanho, seguido de um tratamento térmico que eleva o revestimento acima do ponto de fusão do estanho transformando-o em depósito brilhante.

Atualmente a utilização de outros materiais nas embalagens e o elevado preço do estanho proporciona maiores custos de produção, e forçam o desenvolvimento sustentável de folhas-de-flandres mais competitivas no mercado.

A busca da redução dos custos de produção das folhas-de-flandres tem levado a um interesse cada vez maior na diminuição da camada eletrodepositada e na redução das perdas de estanho do processo.

No processo de eletrodeposição a tira passa entre os anodos de estanho, mergulhados no eletrólito, onde os processos tipo “Ferrostan”,<sup>(1)</sup> a base de ácido parafenol sulfônico (PSA) e “Ronastan”<sup>(2)</sup> a base de ácido metano sulfônico (MSA) são mais difundidos no mercado, e sob condições controladas uma camada de estanho é depositada com densidade de corrente que varia entre 5 A/dm<sup>2</sup> a 75 A/dm<sup>2</sup>, porém o desbalanceamento entre as reações anódicas e catódicas mantém uma eficiência do processo entre 91% e 95%, conseqüentemente aumenta a concentração no banho e possível oxidação do estanho.

Portanto as perdas de estanho no processo produtivo de folhas-de-flandres são relativas a um sobre-revestimento (*over-coating*) e na geração de resíduos no processo, tais como: lama no fundo dos tanques de solução e as borras de estanho oriundas de refusão de anodos.

O objetivo deste trabalho consiste na redução das perdas de estanho do processo, atuando na correção do desbalanceamento da concentração da solução utilizando a tecnologia de anodos insolúveis resistentes a banhos ácidos.

### 1.1 Características das Folhas-de-flandres

A folha-de-flandres é um produto siderúrgico plano, revestido com estanho que atende a todos os requisitos metalúrgicos de fabricação de uma folha de aço baixo carbono, laminado a frio.<sup>(3)</sup> O revestimento de estanho é a base para multiplicidade dos usos, e a quantidade de massa aplicada resultará na folha mais apropriada para embalagens específicas de acordo com a agressividade do produto acondicionado e características do meio externo. Assim, o envase de produtos mais agressivos implica na utilização de folhas com maior massa de estanho.

As folhas-de-flandres são produzidas e fornecidas sob forma de folhas ou em bobinas, segundo os requisitos das importantes normas técnicas NBR 6665,<sup>(4)</sup> ASTM A624,<sup>(5)</sup> ASTM A626,<sup>(6)</sup> EN10202<sup>(7)</sup> e JISG3303.<sup>(8)</sup> A Figura 1 mostra um esquema de uma seção de uma folha-de-flandres com seus diferentes tipos de camadas e suas espessuras correspondentes.

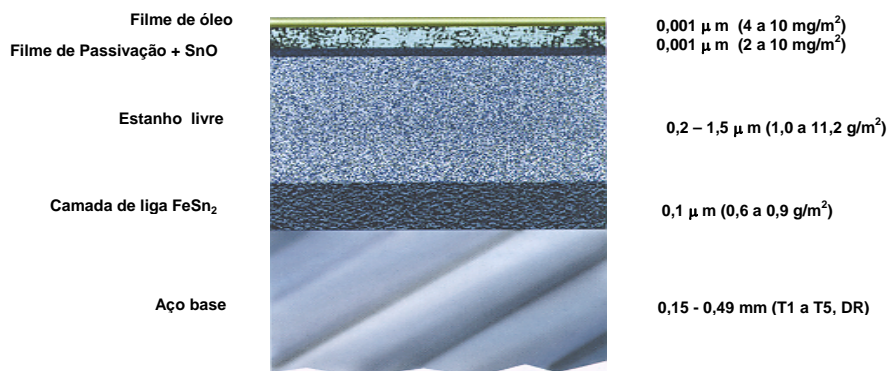


Figura 1 – Esquema da seção de uma folha-de-flandres. <sup>(3)</sup>

## 1.2 Processo de Fabricação de Folhas-de-flandres

Este processo eletrolítico consiste resumidamente em passar o aço em bobina por uma série de tanques e unidades de processamento, colocadas em seqüência, fazendo-se o corte do produto no final da linha, de acordo com os tamanhos desejados, ou procedendo-se o seu bobinamento.<sup>(1)</sup> Como em toda a linha, esta se compõe em três seções principais: entrada, processo e saída. A seção do processo consiste em: Limpeza Alcalina, Decapagem, Eletrodeposição de estanho, Torre de Fusão, Tratamento Químico e Oleamento. A Figura 2 mostra um desenho esquemático da linha.

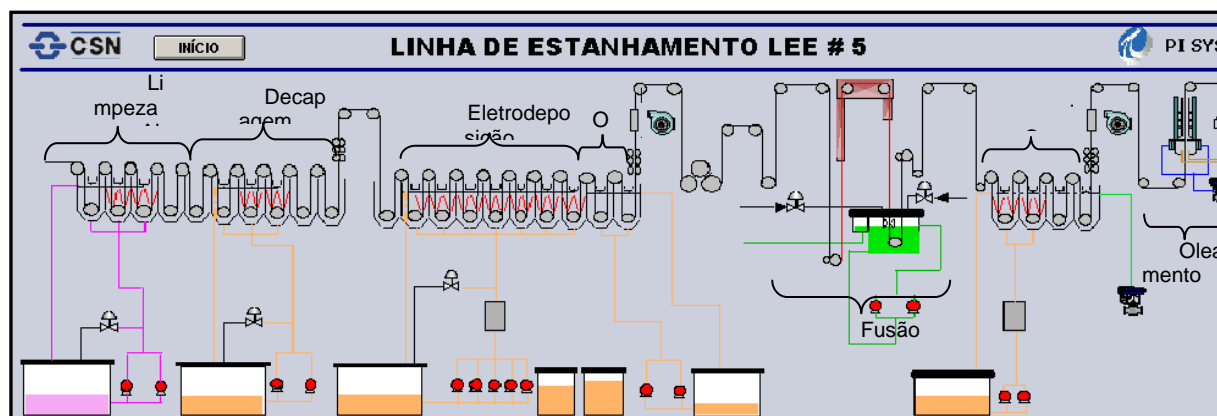


Figura 2 - Esquemático de uma linha de estanhamento eletrolítico .

## 1.3 Tecnologia de Anodos Insolúveis

Os anodos insolúveis ou também chamados anodos dimensionalmente estáveis (ADE's ou DSA® patenteado pela Diamond Shamrock Technologies S. A., Genebra, Suíça) surgiram em meados do século XX e constituem uma classe de eletrodos extremamente importantes para a indústria eletroquímica de produção de cloro-soda. Estes eletrodos possuem morfologia e microestrutura porosa e vêm sendo estudados desde a década de 1960, quando surgiu o primeiro ADE comercial, em substituição aos eletrodos de grafite. São inúmeras as aplicações tecnológicas destes materiais: produção de cloro e de oxigênio, supercapacitores, medidores de pH, preparação de dispositivos de aquecimento, oxidação de substâncias orgânicas e também como anodo insolúvel em linhas de eletrodeposição (estanhamento eletrolítico e eletrogalvanização). Tais eletrodos consistem de uma base metálica, na

maioria das vezes de Titânio, sobre a qual uma camada de óxidos metálicos é aplicada, por diferentes técnicas. As mais comuns são decomposição térmica de cloretos, método de spray-pirólise, método sol-gel e decomposição térmica de precursores poliméricos (DPP). A camada de óxido nos ADE's é racionalizada misturando-se óxidos com propriedades catalíticas ( $\text{RuO}_2$ ,  $\text{IrO}_2$ ), óxidos que fornecem estabilidade mecânica ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ), necessários para melhorar a aderência da mistura no suporte e aumentar a estabilidade dimensional. Além disso, pode-se também utilizar aditivos moduladores das propriedades elétricas. Vários semicondutores, entre eles o óxidos de  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{Co}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ,  $\text{PtO}_x$ ,  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ , são aplicados como aditivos, resultando em uma melhora na eficiência eletroquímica.<sup>(9)</sup>

O revestimento baseado nos óxidos de irídio e tântalo possui excelente atividade catalítica para evolução de oxigênio em banhos ácidos. Apresenta também boa resistência a corrosão em banhos ácidos orgânicos e inorgânicos. A vida útil do anodo é comprometida, devido a oxidação da matéria orgânica na superfície do anodo formando um filme orgânico é a principal fonte de redução da vida útil do anodo.<sup>(10)</sup>

#### 1.4 Função dos Anodos no processo de eletrodeposição de estanho

A principal função dos anodos insolúveis no processo de produção das folhas-de-flandres é promover o balanceamento das reações catódicas e anódicas, conseqüentemente mantendo a concentração de estanho do banho dentro dos padrões estabelecidos, a fim de evitar perdas de estanho por oxidação do mesmo.

Utilizando a Lei de Faraday ( $m=ite$ ) e aplicando uma corrente de 4500 A, os anodos insolúveis podem depositar na tira de aço um revestimento médio de  $0,46 \text{ g/m}^2$ . A Figura 3 mostra um esquema de uma célula de eletrodeposição de estanho com as reações químicas que ocorrem na superfície dos eletrodos.

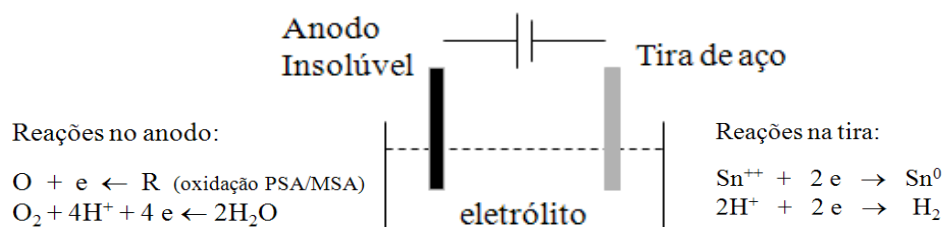


Figura 3 – Reações nos eletrodos da célula de eletrodeposição de estanho.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Consumo de Estanho

O estanho é um item importante na composição do custo de produção da folha-de-flandres e corresponde em torno de 7% do custo final. O gasto total com essa matéria-prima é da ordem de 90 milhões de reais ao ano. Portanto, é um item que se devem direcionar projetos de redução de custo e de sustentabilidade em função do meio de sua obtenção.<sup>(11)</sup> A Figura 4 mostra o gráfico da composição do custo de uma bobina de folha-de-flandres (BFL) em R\$/t.

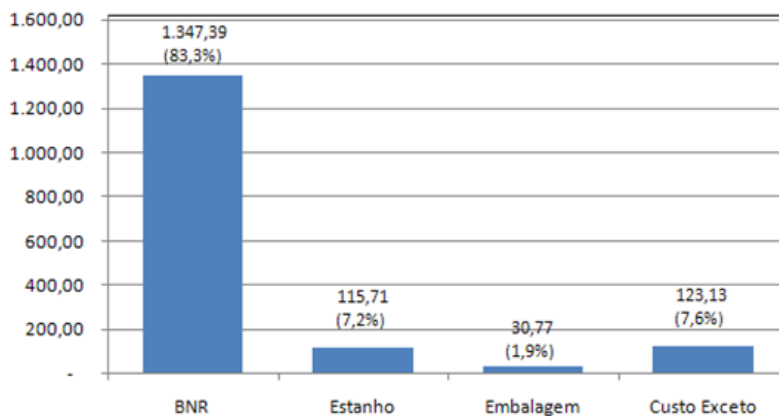


Figura 4 – Composição do custo da BFL.<sup>(11)</sup>

## 2.2 Histórico

O gráfico da Figura 5 mostra um acompanhamento do consumo de estanho nas linhas de estanhamento eletrolítico da CSN. As perdas de estanho estão na ordem de 10% e o consumo de estanho, de acordo com a mistura de revestimento dos materiais, é de 4,37 kg/t de folha-de-flandres produzida.<sup>(11)</sup>

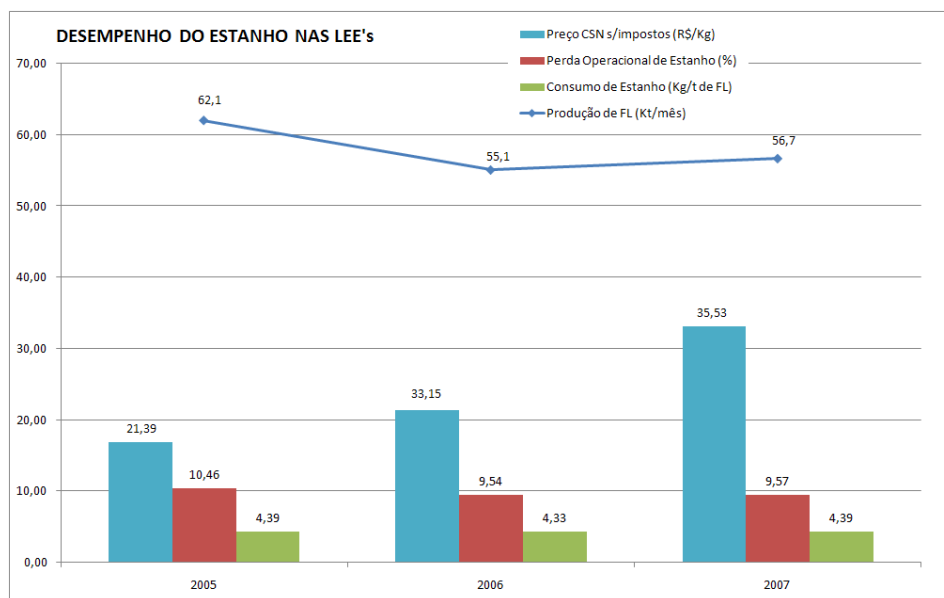


Figura 5 – Consumo de estanho nas LEE's da CSN.<sup>(11)</sup>

## 2.3 Perdas Atuais e Ganhos viáveis

### 2.3.1 Perdas atuais

A Tabela 1 mostra a apuração das perdas no período de 2005 a 2007.

Tabela 1 – Apuração das perdas de estanho anuais das LEE's<sup>(11)</sup>

ano	R\$/kg	Real (kg/t)	Perda (%)	Produção (Kt/mes)	Contratado (kg/t)	Perda (t/mês)	Perda (R\$/ano)
2005	16,85	4,39	10,46	62,1	3,97	26	R\$ 5.215.568
2006	21,39	4,33	9,54	55,1	3,95	21	R\$ 5.332.987
2007	33,15	4,39	9,57	56,7	4,01	22	R\$ 8.647.363

## 2.4 Observações e Análises do Consumo de Estanho

A Figura 6 mostra um fluxo da utilização de estanho nas linhas de estanhamento eletrolítico da CSN. A elaboração deste fluxo teve como objetivo descobrir as causas que afetam o consumo de estanho. O mesmo foi elaborado a partir de acompanhamento e observações do processo de estanhamento eletrolítico das LEE's. Os anodos de estanho são estocados num depósito, onde os mesmos serão requisitados e substituídos na linha, as sobras são enviadas para refusão e moldagem. O estanho é consumido no revestimento contratado pelo Cliente e na solução. No setor de refusão é gerado borra de estanho proveniente da escumação.

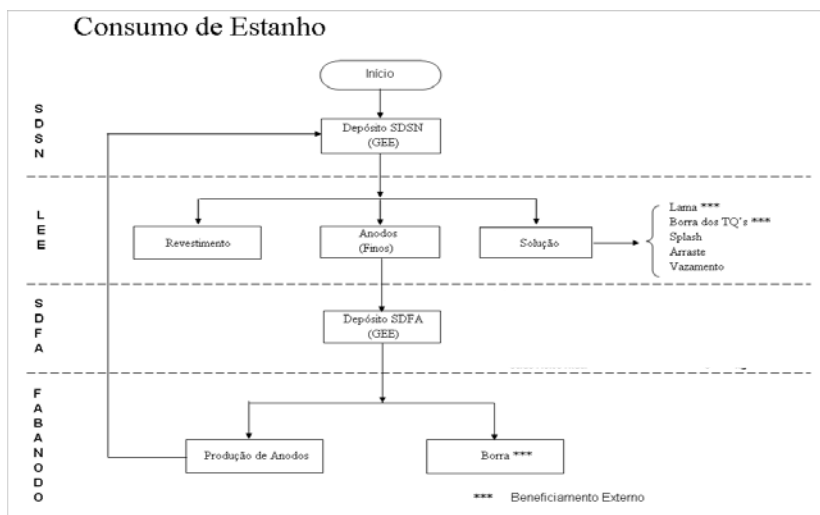


Figura 6 – Fluxo de consumo de estanho nas LEE's da CSN.

O objetivo deste trabalho visa a redução das perdas de estanho do processo, atuando na correção do desbalanceamento da concentração da solução utilizando, tecnologia de anodos insolúveis resistentes a banhos ácidos.

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Implantação de Anodos Insolúveis nas LEE's

#### 3.1.1 Capacidade de recuperação dos anodos insolúveis

Tomando como base um conjunto instalado operando na capacidade máxima e aplicando a lei de Faraday ( $m=ite$ ), temos:

$$m = \frac{4500A}{1,581m \times 0,850m} \times \frac{1,581m \times 60s}{400m} \times \frac{118,71g}{2 \times 96500As}$$

$m = 0,46 \text{ g/m}^2$ , portanto: 0,61 g em 0,23 s ou capacidade igual 9,5 kg de estanho / h

Simulação da recuperação:<sup>(11)</sup>

Consumo específico de estanho 4,2 kg<sub>Sn</sub> / t<sub>F1</sub>

Produtividade da linha de 26 t<sub>F1</sub>/h

Consumo de estanho = 109,2 kg<sub>Sn</sub>/h

Perda por eficiência de 5% a 10% = 5,46 a 10,92 kg<sub>Sn</sub>/h

Recuperação: 47 t de Sn / ano por linha

### 3.1.2 Plano de Implantação dos anodos insolúveis nas LEE's

A Tabela 2 mostra o cronograma de implantação dos anodos nas LEE's.

**Tabela 2** – Cronograma de implantação dos anodos insolúveis nas LEE's

LEE	2007				2008			
	1º T	2º T	3º T	4º T	1º T	2º T	3º T	4º T
LEE#1								
LEE#2								
LEE#3								
LEE#5								
LEE#6								

### 3.1.3 Compra dos anodos insolúveis

Implantação de Anodo Insolúvel nas LEE's <sup>(11)</sup>

P-010.2859-01 (2007/2008)

1ª aquisição: Abril/2007 (06 peças) 4500514593

2ª aquisição: Dez./2007 (06 peças) 4500585982

A Figura 7 mostra um anodo insolúvel durante a etapa de desenvolvimento, onde foram feitas adequações dimensionais para a utilização nas LEE's da CSN.



**Figura 7** – Anodos insolúveis 1º conjunto aplicados nas LEE's da CSN.

### 3.1.3 Aplicação de corrente nos anodos insolúveis

O conjunto 1 de anodos insolúveis foi instalado na ponte inferior descendente do tanque 133 da LEE#5 (Figura 8). A opção por esta ponte foi feita em função do processamento de revestimento pesado, normalmente na face inferior e para possibilitar uma melhor visualização dos anodos.

A faixa de operação determinada para o conjunto de anodos foi de 300 A a 4.500 A. A corrente mínima é necessária para evitar a deposição de estanho na superfície dos anodos e a máxima em função do limite do retificador.

A aplicação de corrente no conjunto de anodos insolúveis é feita automaticamente pelo PLC que distribui a corrente total pelos passes em operação. Porém em função da variação da concentração de estanho, a corrente aplicada no conjunto pode ser aumentada ou reduzida, caso seja necessário reduzir ou aumentar respectivamente a concentração de estanho.

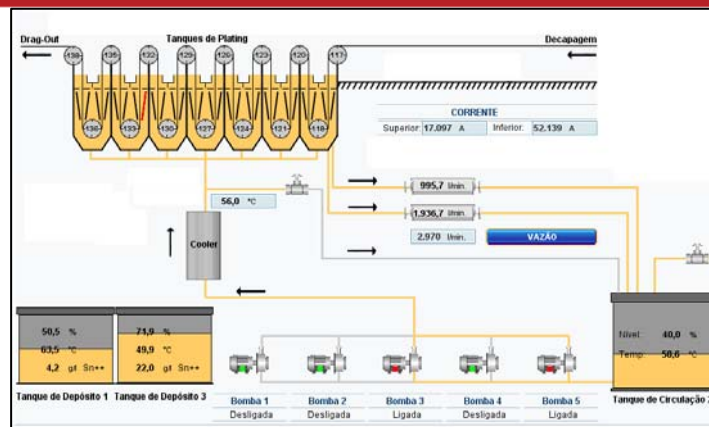


Figura 8 – Desenho esquemático da aplicação de corrente no plating das LEE's

### 3.1.4 Controle da campanha dos anodos insolúveis

A Tabela 3 mostra uma planilha para controle da vida útil dos mesmos <sup>(11)</sup>.

Tabela 3 – Campanha dos anodos insolúveis nas LEE's

CONTROLE DE CAMPANHA ANODOS INSOLÚVEIS TIPO LEE's									
CÓDIGO:		8095586							
Nº CONTROLE:									
PO AQUISIÇÃO:		DATA:							
CAMPANHA									
EQUIPOTO	DATA		PRODUÇÃO (t)	MOTIVO DA SAÍDA	STATUS	REPARAÇÃO			
	ENTRADA	SAÍDA				Nº DIAS	PO	DATA SAÍDA	DATA CHEGADA

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Campanha do 1º Conjunto de Anodos Insolúveis

Tabela 4 – Resultado da campanha do 1º conjunto de anodos insolúveis

LEE	Período		Produção (t)	Total (h trabalhadas)	
	Início	Fim		t/h util	h
1	15/6/07	30/6/07	3700	11,50	321,739
5	3/7/07	20/7/07	11000	25,80	426,357
2	3/8/07	29/8/07	4255	20,80	204,567
3	1/9/07	31/12/07	40000	13,30	3007,519
2	18/2/08	22/2/08	1448	20,80	69,615
2	10/3/08	17/3/08	2221	20,80	106,779
Total	190 dias (6,3 m)		62624		4137

O conjunto de anodos trabalhou em varias linhas de estanhamento em banhos orgânicos (Ferrostan e Ronastan) produzindo 63 Kt de folhas-de-flandres totalizando 4137 h trabalhadas. O período total em que o conjunto de anodos insolúveis ficaram disponíveis nas LEE's foi de 6,3 meses.

### 4.2 Modificações Implementadas no Projeto dos Anodos Insolúveis

Devido aos problemas ocorridos durante a utilização do 1º conjunto foram implementadas modificações no projeto original. A Figura 9 mostra uma corrosão localizada e carbonização na região do contato elétrico do anodo insolúvel, devido ao ataque da solução e falha no contato de cobre.





**Figura 9** – Corrosão e carbonização no contato elétrico do anodo insolúvel.

Ocorreu também um problema de instabilidade com os anodos insolúveis quando foram submetidos a altas velocidades de linha, superiores a 400 m/min. Nestas situações os anodos saíam da fixação das pontes de anodos da linha. A Figura 10 mostra as modificações implementadas para solucionar os problemas ocorridos no projeto original.



**Figura 10** – Modificações implementadas no anodo insolúvel

Para solucionar os problemas ocorridos tais como: corrosão localizada, carbonização e instabilidade em altas velocidades, o contato elétrico foi aumentado e sua fixação melhorada através de solda. Outras modificações foram implementadas com a colocação de proteções de teflon contra curto-circuito entre o anodo e a tira e diminuição da inclinação da cabeça do anodo insolúvel.

#### 4.3 Campanha do 2º Conjunto de Anodos Insolúveis

A Tabela 5 apresenta os resultados da campanha do 2º conjunto de anodos insolúveis instalados na LEE#5.

**Tabela 5** – Resultados da campanha do 2º conjunto de anodos insolúveis

LEE	PERÍODO		PRODUÇÃO (t)	Total (h trabalhadas)	
	Início	Fim		t/h util	h
5	18/1/2008	12/5/2008	68.076,90	28,7	2374

O conjunto de anodos trabalhou na LEE#5 produzindo 68 Kt de folhas-de-flandres totalizando 2.374 h trabalhadas. O período total em que o conjunto de anodos insolúveis ficou disponível na linha foi de 3,83 meses.

#### 4.4 Viabilidade Econômica do 2º Conjunto de Anodos Insolúveis

Perda por eficiência em 5,46 Kg<sub>Sn</sub>/h (5%)

Recuperação do anodo insolúvel de 50% = 2,73 Kg<sub>Sn</sub>/h

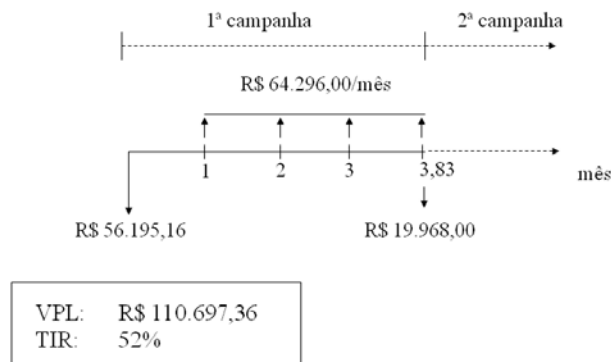
Horas trabalhadas do anodo: 2.373,9 h (3,83 meses)

Total de estanho recuperado: 1.692 kg<sub>Sn</sub> / mês

Preço do estanho: R\$/t 38.000,00

Ganho com a recuperação: R\$ 64.296,00 / mês

Fluxo de caixa:



#### 4.5 Verificação

##### 4.5.1 Consumo e perdas de estanho nas LEE's

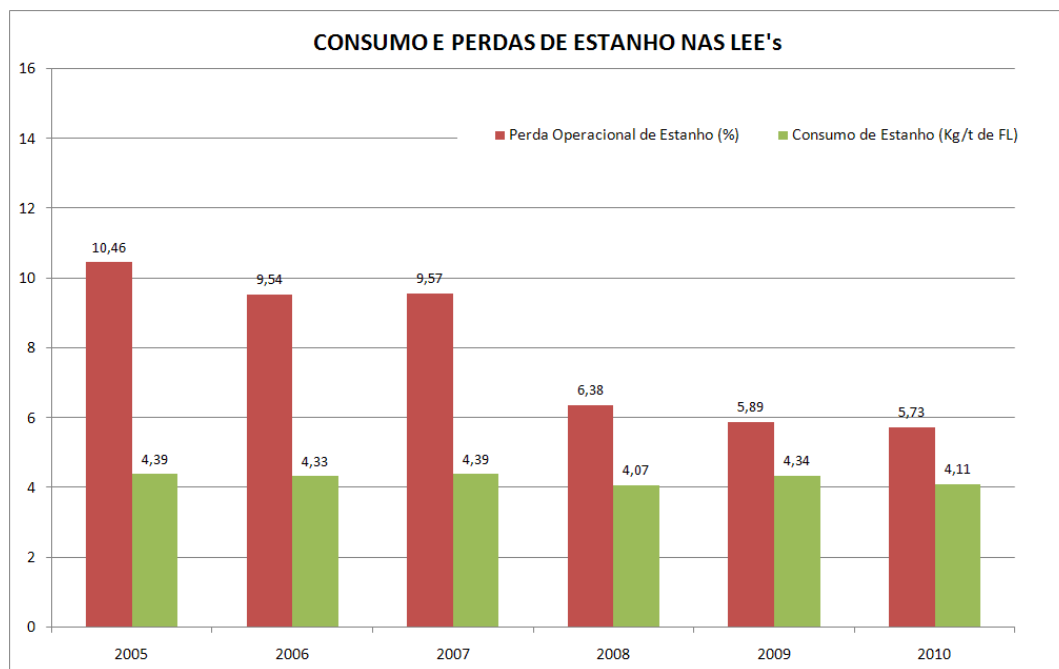


Figura 11 – Consumo e Perdas de estanho nas LEE's

Observamos que a partir da implantação dos anodos insolúveis nas LEE's obtivemos uma redução em torno de 40% nas perdas de estanho.

#### 4.5.2 Campanha dos anodos insolúveis nas LEE's

O acompanhamento da vida útil dos anodos insolúveis em uso nas LEE's mostrou que os mesmos trabalharam em média 5 meses por campanha.

#### 4.6 Ganhos

A Tabela 7 apresenta os resultados de apuração das perdas totais de estanho nas LEE's após a implantação dos anodos insolúveis.

**Tabela 7** – Apuração das perdas de estanho anuais das LEE's

ano	R\$/kg	Real (kg/t)	Perda (%)	Perda Atual(%)	Produção (Kt/mes)	Perda Atual (t)	Ganho (t/mês)	Ganho (R\$/ano)
2005	16,85	4,39	10,46	10,46	62,1	26	0	R\$ 0
2006	21,39	4,33	9,54	9,54	55,1	21	0	R\$ 0
2007	33,15	4,39	9,57	9,57	56,7	22	0	R\$ 0
2008	35,53	4,07	9,57	6,38	41,9	10	5	R\$ 1.989.842
2009	26,29	4,34	9,57	5,89	37,7	9	5	R\$ 1.637.157
2010	32,04	4,11	9,57	5,73	43,5	10	6	R\$ 2.276.474

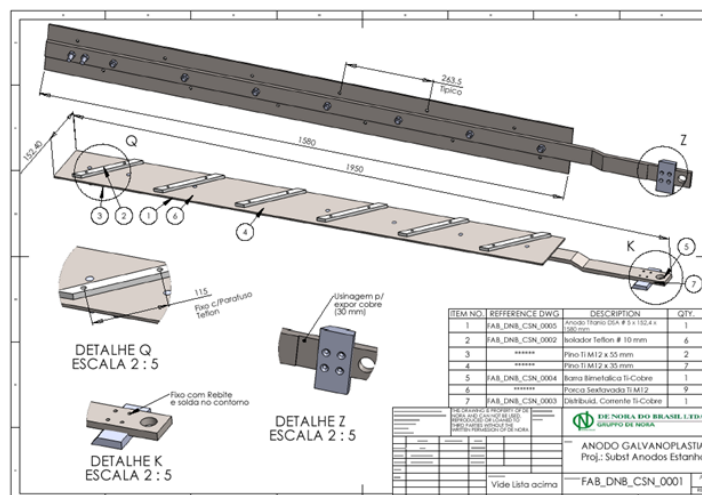
Após a implantação dos anodos insolúveis obtivemos um ganho médio em torno de R\$ 2.000.000,00 anuais.

#### 4.7 Padronização

##### 4.7.1 Projeto final do anodos insolúvel

Após as implementações das modificações e melhorias no desenho inicial dos anodos insolúveis, a Figura 12 apresenta a versão final do projeto. Os desenhos foram cadastrados no sistema da CSN.

nº dos desenhos: FAB\_DNB\_CSN\_0001 / 0002 / 0003 / 0004 / 0005



**Figura 12** – Projeto Final dos anodos insolúveis das LEE's.

##### 4.7.2 Rotina de limpeza dos anodos insolúveis

Foi estabelecida uma rotina de limpeza dos anodos insolúveis a cada manutenção preventiva da linha utilizando-se máquina de alta pressão. Trata-se de uma Requisição de Serviço (RS) nº 10 260 330 000 00021 do Sistema de Gestão da Manutenção (SIGMA).



## 5 CONCLUSÃO

- A tecnologia de anodos insolúveis aplicadas às LEE's demonstrou ser eficiente na recuperação de estanho presente no eletrólito. Com isso o desbalanceamento proveniente das reações anódicas/catódicas pôde ser compensado;
- Os anodos insolúveis apresentaram vida útil variando de 4 a 6 meses, trabalhando em banho ácidos orgânicos;
- Com as modificações implementadas no projeto de desenvolvimento inicial os anodos apresentaram excelente desempenho em termos de estabilidade em altas velocidades, contato elétrico e resistência a corrosão;
- A análise econômica do 2º conjunto de anodos insolúveis utilizados na LEE#5 demonstrou ser um projeto atrativo apresentando uma TIR de 52% com VPL de em torno de 111 mil reais;
- A utilização de anodos insolúveis nas LEE's proporcionou uma redução das perdas de estanho na ordem de 40%, com um ganho médio anual de 2 milhões de reais.

## REFERÊNCIAS

- 1 U.S.S CORPORATION - Operating Manual for the Electrotinning Line, EUA, Abril, 1970.
- 2 ROHM and HAAS – Electronic Materials – Ronastan TP-SR with Stannguard Antioxidant, EUA September, 2005.
- 3 CSN – Catálogo de Aço para Embalagens - Folhas Metálicas, 2008.
- 4 ABNT NBR 6665 - Folhas laminadas de aço-carbono revestidas eletroliticamente com estanho ou cromo ou não revestidas – Especificação, São Paulo, Março, 2006.
- 5 ASTM A624/A624M, 2008 - Standard Specification for Tin Mill Products, Electrolytic Tin Plate, Single Reduced, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008, DOI: 10.1520/A0624\_A0624M-03, www.astm.org.
- 6 ASTM A626/A626M, 2008 – Standard Specification for Tin Mill Products, Electrolytic Tin Plate, Double Reduced, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008, DOI: 10.1520/A0626\_A0626M-03, www.astm.org.
- 7 BS EN 10202 - Cold reduced tin mill products. Electrolytic tinplate and electrolytic chromium/chromium oxide coated steel, BRITISH STANDARD, 2001.
- 8 JIS G 3303 - Tinplate and blackplate, Japanese Standards Association, 2008
- 9 CARVALHO, L.A, ANDRADE A. R, Espectroscopia de impedância eletroquímica aplicada ao estudo das reações heterogêneas em anodos dimensionalmente estáveis. Química Nova, Vol. 29, No. 4, 796-804, 2006.
- 10 MORIMITSU, M, TAMURA H., MATSUNAGA M.D. Polarization behaviour and lifetime of IrO<sub>2</sub>±Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>±SnO<sub>2</sub>/Ti anodes in p-phenolsulfonic acid solutions for tin plating. Journal of Applied Electrochemistry 30: 511-514, 2000.
- 11 CSN - Companhia Siderúrgica Nacional – Relatórios Internos, dados de produção, Volta Redonda, RJ, 2005/2010.