



# MATERIAL LAMINADO A FRIO - PEÇA EXPOSTA PARA A INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA - EVOLUÇÃO DO CICLO EXTRA LIMPO NA CSN<sup>1</sup>

Sérgio D. Marinho Junior<sup>2</sup>

Gerson Alves Inácio<sup>3</sup>

Raffaele Alves Paranhos<sup>4</sup>

Cacio A. Sena da Silva<sup>5</sup>

Roberto Teixeira Renó<sup>6</sup>

## Resumo

Esta contribuição técnica trata dos desenvolvimentos e ajustes nos processos de laminação a frio e recozimento em caixa, responsáveis pela melhoria do índice de reflectância na tira, chegando a 95% em média no produto final. As melhorias aqui mostradas só foram possíveis devido à grande dedicação e comprometimento da equipe formada para esse trabalho, constituída de membros de vários setores da empresa, tais como: laminador de tiras a frio, oficina de cilindros, recozimento em caixa, laminador de encruamento, Centro de Pesquisas, Gerencia de tecnologia, dentre outras. Juntamente com o fornecedor de óleo de laminação, foi possível realizar modificações no processo e nos procedimentos operacionais. Assim foi obtida a melhoria no índice de reflectância deste produto, que possibilita a permanência e o aumento da participação da CSN neste tipo de mercado.

**Palavras-chave:** Índice de reflectância; Limpeza superficial; Laminados a frio.

## COLD ROLLED MATERIAL - PARTS EXPOSED TO AUTOMOBILE INDUSTRY - EXTRA CLEAN DEVELOPMENT CYCLE IN CSN

### Abstract

This technical contribution is about developments and adjustments in the processes of cold rolling and box annealing, responsible for improving the rate of reflectance on the strip, up to 95% on average in the final product. The improvements shown here were only possible due to the great dedication and commitment team formed for this work, consisting of members from some sectors of company such as: cold strip mill, workshop roll, box annealing, temper mill, management of Research, management of technology, among others. Along with the supplier of oil mill, it was possible to make process changes and operational procedures. Thus was achieved an improvement in the rate of reflectance of this product, which enables the presence and the increasing participation of the CSN in this type of market.

**Keywords:** Reflectance index; Clean surface; Cold Rolled.

<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 Produção, Especialista – CSN / GGGL

<sup>3</sup> Engenheiro Mecânico, Especialista – CSN / GRF

<sup>4</sup> Engenheiro Elétrico, Sênior – CSN / GRX

<sup>5</sup> Técnico Metalúrgico, Especialista – CSN / GRX

<sup>6</sup> Engenheiro M.E. Metalúrgica, Gerente Produtos – Quaker Chemical

## 1 INTRODUÇÃO

A qualidade superficial das tiras de laminados a frio é de suma importância na sua aceitação no mercado. A aderência da pintura na superfície metálica está intimamente ligada com sua limpeza, que pode ser medida através do índice de reflectância (IR) em percentual relativo<sup>(1)</sup> (ensaio Tape test – Figura 1) e pelo carbono superficial presente na tira<sup>(2)</sup> expresso em mg/m<sup>2</sup>. Deste modo, o óleo de laminação deve atender a dois requisitos básicos: alta lubrificidade e alta capacidade de ser eliminado por aquecimento sem deixar resíduos de carbono, propriedades estas que são antagônicas e por isso muito difíceis de serem ponderadas. Como consequência do tratamento térmico adequado no FRCX, o lubrificante e resíduos que permanecem após a laminação a frio são retirados pela combinação da purga e da convecção do gás protetor, nesse caso, hidrogênio puro. Entretanto se o óleo de laminação não estiver ajustado às condições de processo de recozimento as sujidades irão ocorrer no material recozido como fuligens (baixo índice de reflectância), manchas e depósitos carbonosos (*carbon edge*).<sup>(3)</sup> Portanto, para obter tiras laminadas a frio mais limpas, com elevados valores de índice de reflectância (maior que 90%) a quantidade e a qualidade dos resíduos de óleo e ferro que permanecem na superfície da tira após o processo de laminação são determinantes para obtenção de um produto extra\_limpo fluxo Forno de Recozimento em Caixa (FRCX).<sup>(4-6)</sup>

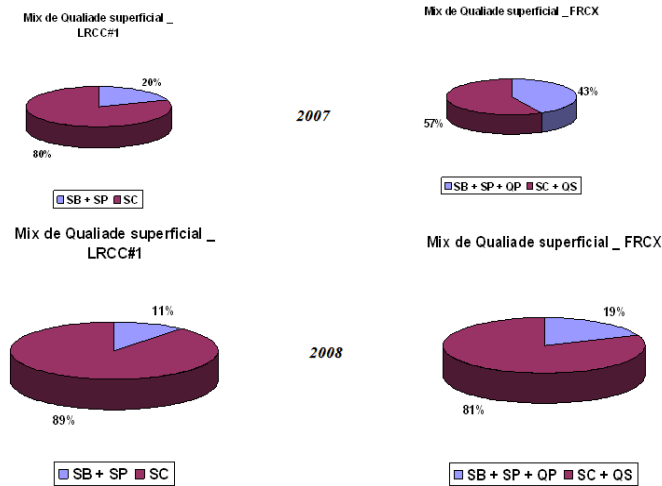


**Figura 1** – Ensaio de Tape test: Aparelho e fita para medição do índice de reflectância (%).

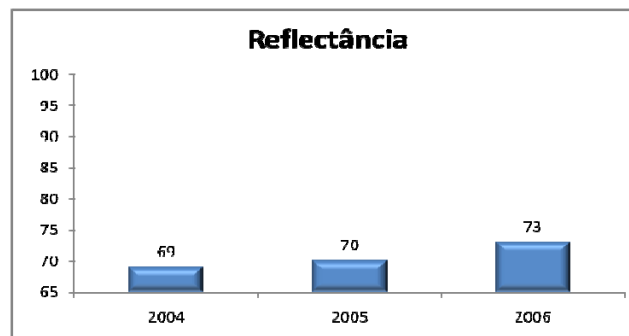
Através da Figura 2 observa-se que a exigência de qualidade superficial vem aumentando cada vez mais, com isto índices de reflectância cada vez maiores são necessários.

A Figura 3 apresenta o histórico dos valores médios de índice de reflectância obtidos em materiais do mercado indústria automobilística no período de 2004 a 2007.

O objetivo deste trabalho é eliminar as restrições de limpeza superficial para materiais da Indústria Automobilística na rota FRCX com largura máxima de 1.550 mm. Para isto será necessário alcançar o valor médio do IR, para estes materiais, de no mínimo 90% após recozimento em caixa.



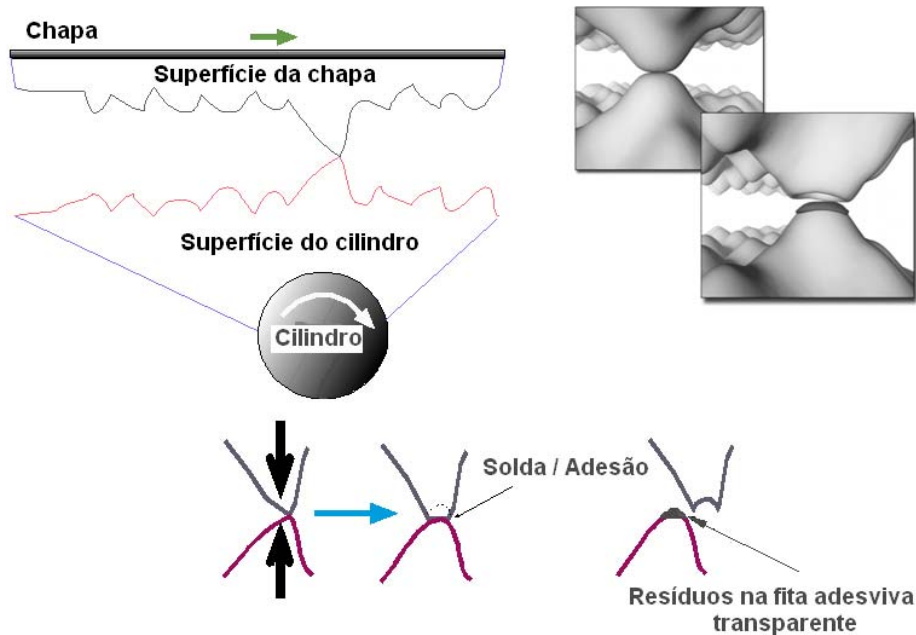
**Figura 2** – Histórico do volume da evolução da qualidade de superfície no MIX de produção do laminador de tiras a frio.



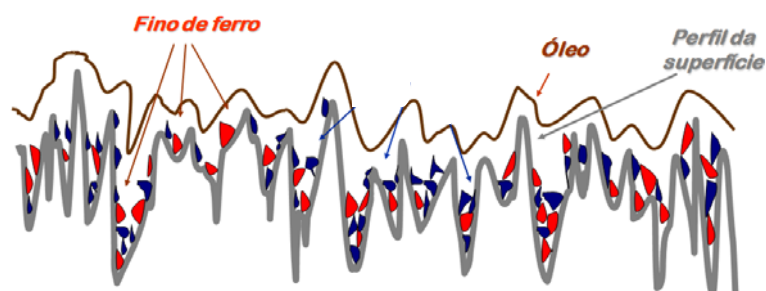
**Figura 3** – Histórico do problema – média anual de índice de reflectância da tira após recozimento em caixa.

## 2 CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO

Em função do processo de redução no Laminador de Tiras a Frio, onde é necessária a utilização de uma emulsão (tipo óleo na água) para garantia da lubrificação e refrigeração, todo material via recozimento em caixa apresenta uma camada residual de óleo, finos de ferro e sabão de ferro (Figuras 4 e 5). Se esta camada não for devidamente retirada da tira durante o processo de recozimento em caixa, na etapa de purga, gera o defeito de qualidade sujeira (SJ) e reduz o índice de reflectância do material, ou seja, a má limpeza de superfície.



**Figura 4** – Desenho esquemático da geração de finos de ferro na tira laminada a frio.

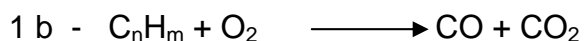
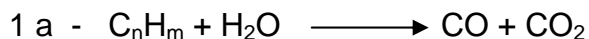


**Figura 5** – Desenho esquemático da superfície da tira após laminação a frio.

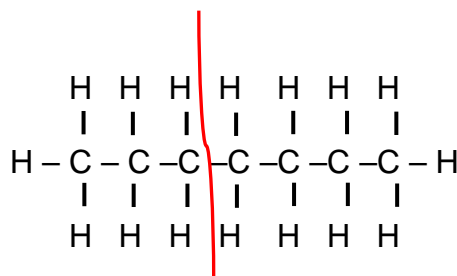
O perfil de concentração dos gases gerados no interior das bobinas durante o ciclo de recozimento com atmosfera de hidrogênio puro podem ser mostradas pelas reações.<sup>(7)</sup>

1 – No início do aquecimento, entre a temperatura ambiente e 100°C, qualquer resíduo de água que se encontra sobre a tira laminada é evaporado.

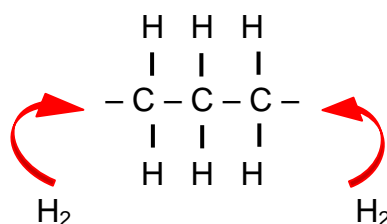
2 – Entre 100°C e 330°C, a volatilização inicial dos hidrocarbonetos do óleo de laminação reagem com o vapor e o oxigênio que permanecem interespiras, formando monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), conforme reação 1.



3 – Com o aumento da temperatura, entre 300°C e 500 °C os hidrocarbonetos de cadeia mais longas dissociam-se, formando radicais que são saturados com hidrogênio: Hidrocarbonetos mais leves são formados que volatilizam com mais facilidade.



**Figura 6** - Processo de dissociação e volatilização do óleo de laminação.

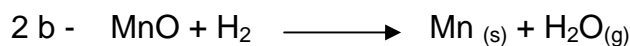
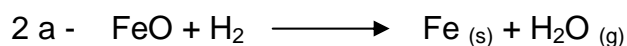


**Figura 7**. Processo de hidrogenização.

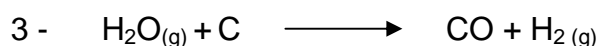
Neste momento o hidrogênio se difunde rapidamente entre as espiras das bobinas, auxiliando numa primeira etapa a redução da contaminação de carbono.

Entretanto resíduos de carbono permanecem na superfície da tira, além de traços de óxidos metálicos, tais como FeO e MnO provenientes de processos anteriores ao recozimento de forno em caixa (laminação a frio, linha de decapagem ácida, estocagem, laminação a quente).

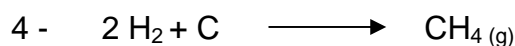
Com o aumento da temperatura da tira, a reativação da reação é incrementada, reduzindo esses óxido na faixa de temperatura de 600°C, conforme reação 2 abaixo descrita.



O vapor d'água resultante reage com o carbono de superfície, formando monóxido de carbono, seguindo a reação 3.



Ao final do encharque (700°C), o hidrogênio reage diretamente com o carbono de superfície da tira conforme reação 4.



Essa reação continua durante o processo de resfriamento, desde que a vazão de hidrogênio esteja num mínimo proporcional à reação 4.

Portanto o mecanismo de limpeza do forno de recozimento em caixa se baseia em 2 principais pontos: a partir de 500°C já ocorreu o “craqueamento” dos hidrocarbonetos mais pesados presentes na superfície da tira laminada a frio, isto é, de peso molecular mais altos, gerando hidrocarbonetos mais leves. A alta concentração de Hidrogênio no forno favorece a posterior hidrogenação daqueles hidrocarbonetos de menores pesos moleculares, e a temperatura mais elevada promove a formação de gás metano. A atmosfera de gás H<sub>2</sub> tem alto potencial em gerar metano, que por ser leve é facilmente eliminado do forno, e conseqüentemente reduz o carbono de superfície promovendo a limpeza da tira.

As características dimensionais do produto são mostradas na Figura 6. Observa-se que o valor do índice de reflectância é pouco dependente da espessura do material, porém há uma queda significativa com o aumento da largura. Analisando o comportamento quanto a classe de aço (grau de aço) observa-se que para aço IF (*Interstitial Free*) o valor de reflectância é sempre acima de 85% (Figura 7). Por esta razão neste trabalho não incluiremos este tipo de aço para não contaminar a análise. Também é possível observar que para materiais confeccionados com grau extra baixo carbono (ELC), o valor médio está abaixo do especificado, sendo estes os principais aços utilizados para confecção de peças para indústria automobilística o que será estudado neste trabalho.

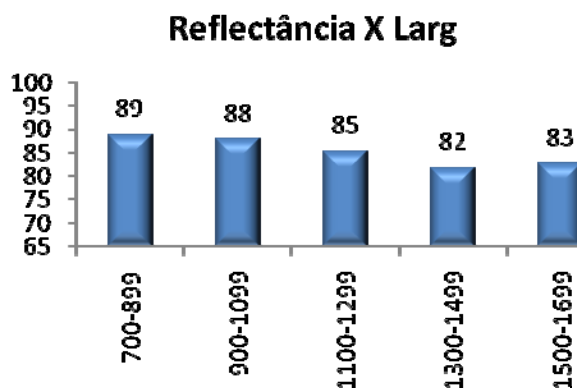


Figura 8 – Características dimensionais.

### 3 DEFINIÇÃO DAS CAUSAS DE UM PRODUTO COM MÁ LIMPEZA

Com base nas informações apresentadas e, associado ao histórico do problema, criou-se um grupo de trabalho que empregou a ferramenta diagrama de causa e efeito (método de “Yshikawa”) (Figura 8), sendo levantadas as causas influentes. Em seguida foi aplicado o teste de hipóteses para definição da causas mais prováveis.

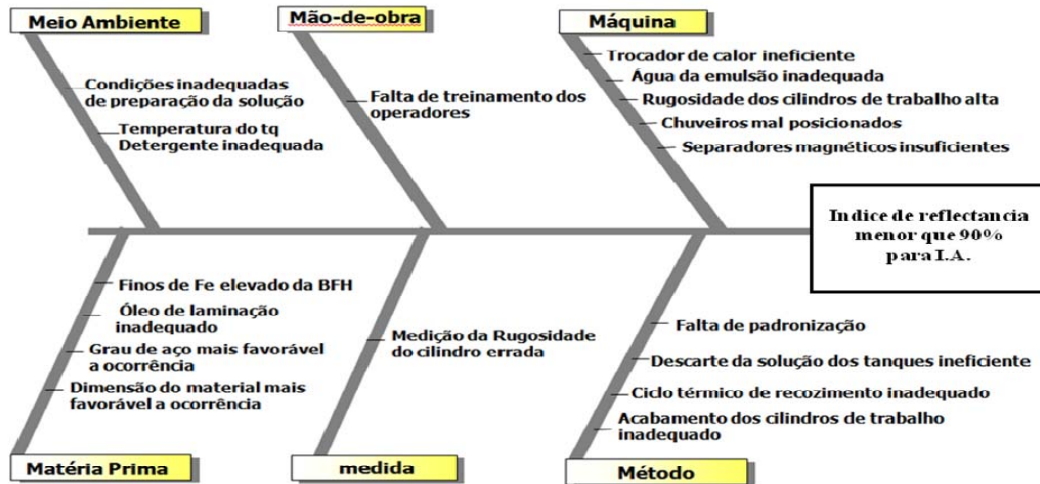


Figura 9 – Diagrama de causa e efeito (“Yshikawa”).

Para cada possível causa foi realizado pelo grupo o teste das hipóteses e a seguir o grupo planejou as ações de bloqueio da(s) causa(s) fundamental(is), resultando na implantação das seguintes melhorias:

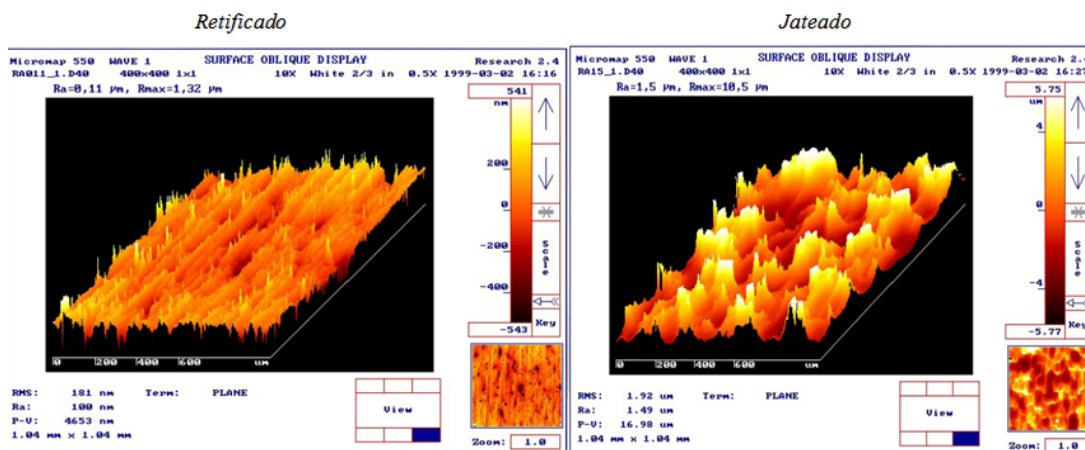


Figura 10 – Efeito do acabamento superficial do cilindro de laminação.

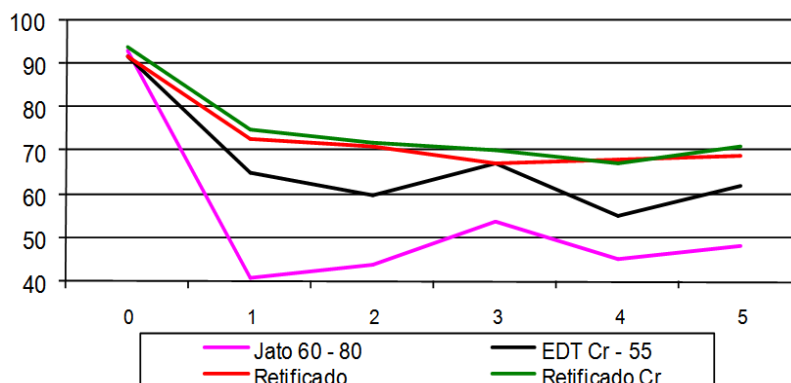
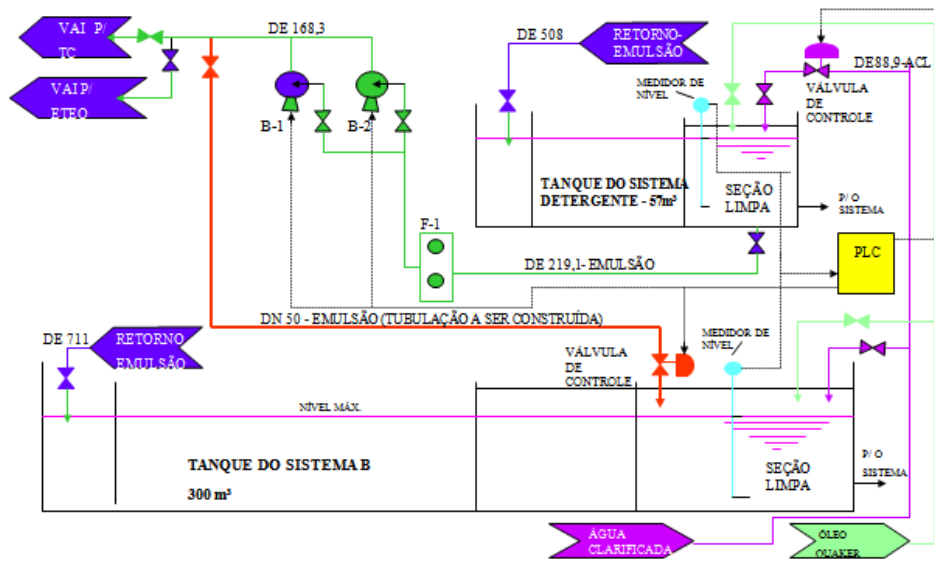
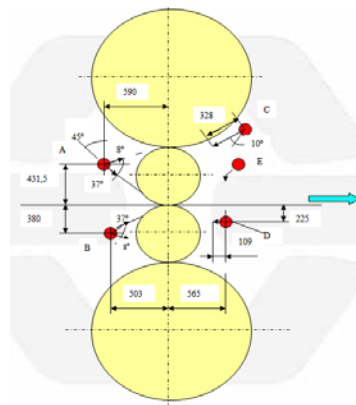


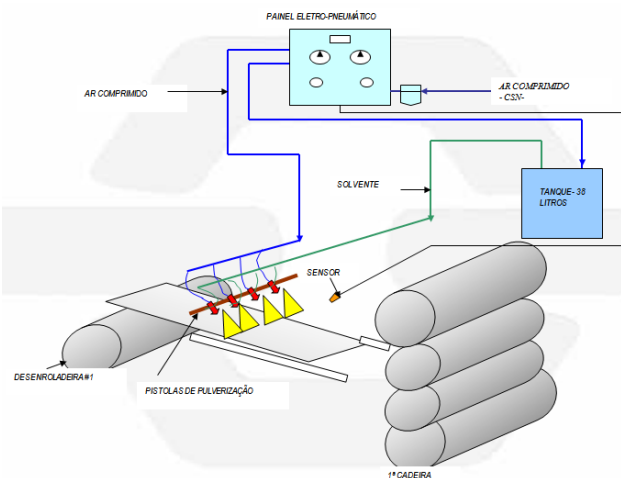
Figura 11 – Tape test inter-cadeiras. Melhor resultado (cilindro cromado na 1° CAD).



**Figura 12** – Fluxograma de interligação do tanque detergente e tanque B (Implantação de transposição entre o tanque da 5<sup>o</sup> CAD e tanque principal).  
Fonte



**Figura 13** – Revisão do posicionamento dos bicos de aplicação da emulsão.



**Figura 14** – Sistema de aplicação de solvente na 1ª cadeira.



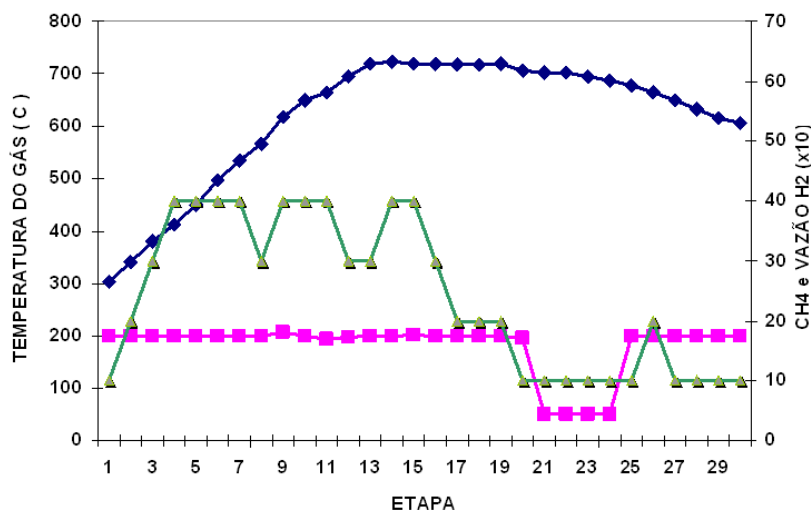


Figura 15– Ajuste do ciclo de recozimento em caixa.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a substituição do trocador de calor tradicional (de tubos) pelo atual (de placas) a temperatura do tanque detergente da 5ª cadeira tornou-se mais estável, favorecendo neste caso a característica de detergência da emulsão, menor temperatura possível sem alterar a emulsibilidade (Figura 13).

Para diminuir a carga na 1ª cadeira sem afetar a produtividade do laminador, foi desenvolvido um sistema de aplicação e um produto (solvente) para facilitar a mordida da tira, assim foi possível diminuir a faixa de rugosidade e alterar o acabamento dos cilindros de trabalho da 1ª cadeira, diminuindo o coeficiente de atrito e por conseqüência a geração de finos de ferro e sua impregnação durante a laminação nas cadeiras posteriores.

Com o reposicionamento dos coletores (*manifolds*) e bicos de emulsão, a lubrificação e refrigeração da tira durante a laminação ficou mais eficiente.

Após a implantação do 3º separador magnético (de correia), projeto CSN, o teor de ferro na emulsão reduziu drasticamente (Figura 14), proporcionando uma emulsão mais limpa e mais estável.

A análise da destilação dos resíduos oleoso da tira no forno de recozimento em caixa foi importante para ajustarmos o ciclo térmico (tempo – temperatura – purga de hidrogênio) ajudando na limpeza do material. A metodologia para construção da curva de destilação qualitativa (Figura 12) foi desenvolvida pelo grupo, pois a análise via cromatógrafo é cara e trabalhosa.

Com a implantação das ações obteve-se uma melhora significativa no valor de I.R. médio dos materiais via recozimento em caixa (Figura 15).

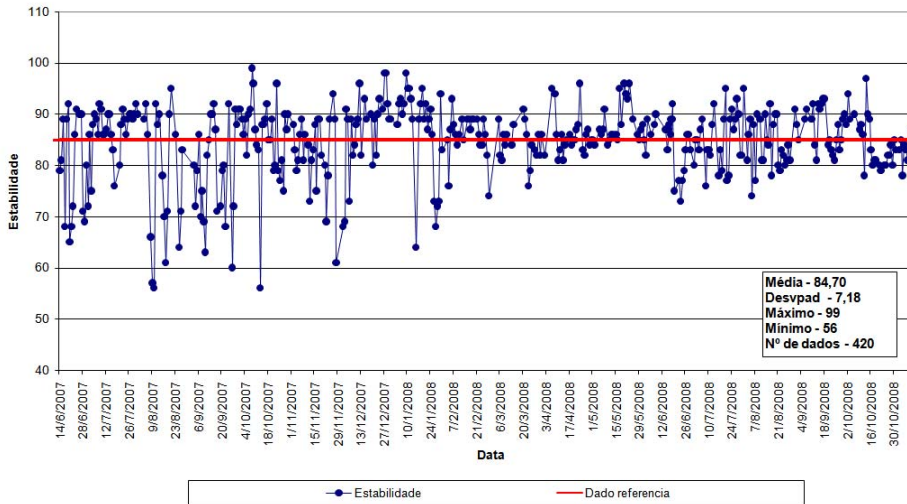
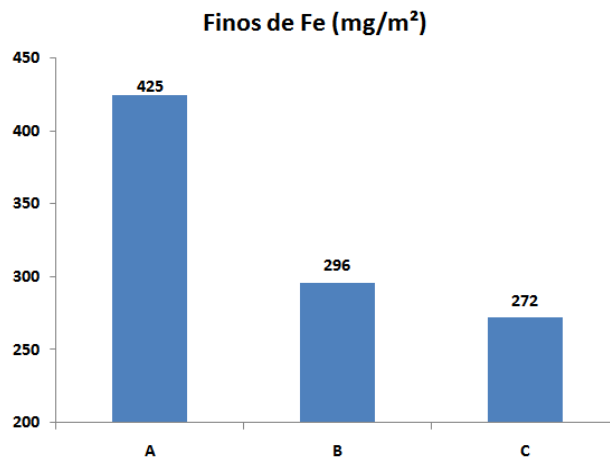


Figura 16 – Resultado da estabilidade da emulsão no LTF#3.



Obs.: Período A: Ano 2007 – água clarificada com 2 separadores magnéticos;  
Período B: Ano 2008 - água desmineralizada com 2 separadores magnéticos; e  
Período C: Ano 2008 - água desmineralizada com 3 separadores magnéticos.

Figura 17 – Teor de finos de ferro na emulsão do LTF#3.

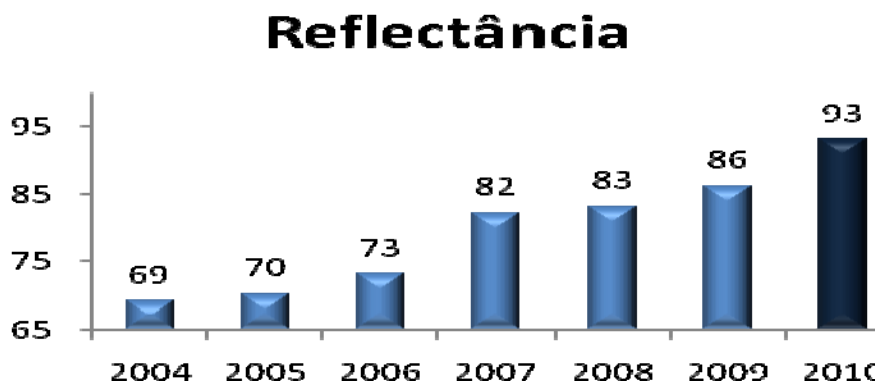


Figura 18 – Resultado do IR do material após recozimento (exceto material IF).



## 5 CONSIDERAÇÕES E CONCLUSÕES FINAIS

A obtenção de um processo estável e capaz para obter um produto laminado a frio com elevado índice de refectância ( $IR \geq 90\%$ ), envolve uma série de fatores e equipamentos, muitos já citados por outros autores (01 a 07). No caso específico desta contribuição tem-se as seguintes considerações que foram relevantes na obtenção dos resultados:

- A melhoria da uniformidade e o decréscimo do valor da rugosidade dos cilindros de trabalho, através da alteração do acabamento de impressão na superfície de jato (granalhas de aço) para retífica e cromeação e a utilização de um solvente apropriado na mordida da tira na 1ª cadeira, resultaram na diminuição da carga de laminação e conseqüentemente na queda do coeficiente de atrito.
- O reposicionamento dos coletores e bicos de emulsão nas posições e distribuições corretas em cada cadeira, melhoraram a eficiência da lubrificação e refrigeração e como conseqüência a menor geração de finos de ferro.
- A melhoria do sistema de limpeza da emulsão, através da implantação de separadores magnéticos, recirculação entre tanques e a implantação do sistema de água desmineralizada em substituição à água clarificada, resultaram em uma emulsão com menores teores de finos de ferro, resíduos sólidos e íon cloreto, propiciando um comportamento uniforme ao longo do processo, sem entupimentos de bicos, sujeiras impregnadas nas cadeiras e susceptibilidade à corrosão.
- Finalmente, após estabilizar o processo no LTF#3 e obter tiras com teores de resíduos aceitáveis, efetuou-se o ajuste final no ciclo de recozimento, através da alteração da curva de aquecimento e do programa de purga de Hidrogênio, resultando na obtenção dos valores desejados do IR no material, isto é  $IR \geq 90\%$ .
- Redução do tempo médio para limpeza dos tanques de recirculação em 50% (menor exposição do homem ao risco);

### Agradecimentos

Aos nossos gestores ( Claudio Avelino e José Mario C. Vilela ) pela confiança e apoio em cada uma das etapas desse projeto.

### REFERÊNCIAS

- 1 MELO, F.G.; AMORIM, J.V.; BAGGER, K.K.; SILVA, L.R.; PEREIRA, M.M.; SILVA, M.A.; MELO, R.M.; MURATON, S.L. – “Estudo da correlação entre resistência a deformação e limpeza superficial do material laminado a frio da COSIPA” - 45º Seminário de Laminação, Processos e Produtos Laminados e Revestidos – ABM – Ipojuca-Porto de Galinhas –PE, 21 a 24 Outubro de 2008
- 2 RENÓ, R.T.; MONTEIRO, B.O.; FERREIRA, A.A. – “ Melhoria da qualidade de produtos laminados a frio CSN : Carbono de Superfície menor ou igual a  $4 \text{ mg/m}^2$ ” – 36º Seminário de Laminação, Processos e Produtos Laminados e Revestidos – ABM – Belo Horizonte-MG, 22 a 24 Setembro de 1999
- 3 PLEISTICKER, G.K.; NOGUEIRA, C.N.; SILVA, L.R.; CURADO, L.S. – “Otimização do ciclo de recozimento dos materiais extra-limpos para fabricação de tambores” – 40º Seminário de Laminação, Processos e Produtos Laminados e Revestidos – ABM – Vitória – ES , 21 a 23 Outubro 2003



- 4 BROEKHOF,N.L.J.M.; MUELLER,C.E. - “Impact of novel cold rolling oil technologies and materials on strip cleanliness” – AISE Steel Technology – November-December 2001
- 5 ROCHA,S.S.;RAMPINELLI,M.E.;SERRE,S.;NOGUEIRA,C.N.;AMORIM,J.L. – “Limpeza superficial do produto laminado a frio da VEGA do Sul” – 40º Seminário de Laminação, Processos e Produtos Laminados e Revestidos – ABM – Joinville-SC, 26 a 28 Outubro 2004
- 6 RAMPINELLI,M.E.G.;NOGUEIRA,C.N.;COLZANI,L.;AMORIM,J.L.;ROCHA,S.S.;SCHATT SCHNEIDER,M.;LESSA,R.A.G.;ALMEIDA,K.R.;BELA,J.C.G.; - “Cromação dos cilindros de trabalho da última cadeira do laminador a frio da ARCELOR MITTAL VEJA para fabricação de materiais extra-limpos e ultra-lçargos” - 44º Seminário de Laminação, Processos e Produtos Laminados e Revestidos – ABM – Campos do Jordão – SP. , 16 a 19 Outubro 2007
- 7 Leroy V. , Maigne J.M. , Lamberigts M. ; Paper at TMS-Meeting ; Cincinnati/USA – October 1991