

MELHORIA DA PERFORMANCE DE ESPESSURA DO LAMINADOR DE TIRAS A FRIO DA COSIPA⁽¹⁾

Maurício de Freitas Giovannetti⁽²⁾
Sergio Luiz Muratori⁽³⁾

RESUMO

O presente trabalho descreve o aprimoramento das malhas originais de controle de espessura dos controladores de processo do Laminador de Tiras a Frio da Cosipa bem como a introdução de novas malhas nas cadeiras 1, 3 e 4. O objetivo foi o de limitar a variação de espessura no corpo da bobina dentro de faixas ainda mais restritas (em relação àquelas previstas pelas normas da empresa), assim como diminuir o comprimento da ponta e cauda da bobina, aumentando o rendimento metálico do produto laminado. Apresenta também a correção do sistema de detecção da excentricidade dos cilindros de encosto e a modificação do sistema de medição da velocidade da tira, localizado nos vãos entre as cadeiras. Finalmente, para permitir a avaliação das melhorias implantadas, a performance original de espessura é comparada com a performance obtida após a implantação das modificações propostas.

Palavras-Chave: Laminador de Tiras a Frio – controle automático – espessura.

⁽¹⁾ Trabalho a ser apresentado no 41º Seminário de Laminação Processos e Produtos Laminados e Revestidos – Outubro de 2004 – Joinville, SC - Brasil.

⁽²⁾ Sócio da A.B.M. Engenheiro Eletricista, Gerência de Suporte Técnico da Laminação a Frio da Companhia Siderúrgica Paulista - Cosipa, Cubatão – SP - Brasil.

⁽³⁾ Engenheiro Eletricista, Gerência de Suporte Técnico da Laminação a Frio da Companhia Siderúrgica Paulista - Cosipa, Cubatão – SP - Brasil.

1. Introdução

Um dos itens de maior importância relacionados à laminação a frio é sem dúvida o controle da espessura da tira. Atualmente o domínio do controle da espessura tem sido um dos fatores motivadores para reformas em laminadores, uma vez que o mercado tem exigido tolerâncias de variação de espessura cada vez mais restritas.

Após a privatização da COSIPA, iniciou-se um processo interno visando a modernização de seu Laminador de Tiras a Frio. Essa atualização tecnológica previa um sistema automatizado que incluía, entre outras funções, um modelo matemático para o cálculo dos *presets* do laminador e um sistema de controle automático de espessura e planicidade. Estas funções visavam proporcionar um nível de garantia da qualidade dos produtos muito difícil de ser alcançado nas condições de obsolescência em que a planta se encontrava. A modernização permitiu que tal objetivo fosse plenamente alcançado, proporcionando à empresa a conquista de maior participação no mercado.



Figura 1 - Laminador de Tiras a Frio de 4 Cadeiras da Cosipa

A partir deste ponto, surgiram várias possibilidades de novos desenvolvimentos relativos ao aperfeiçoamento da espessura, considerando que o novo equipamento proporcionava as ferramentas necessárias para a implementação destas melhorias.

Os fatores determinantes do presente trabalho foram: a necessidade de atender às exigências cada vez maiores do mercado em relação à espessura e a oportunidade de aumento da produtividade da planta, através do ganho no rendimento metálico (reduzindo-se as perdas nas extremidades da bobina).

Para o melhor entendimento dos novos desenvolvimentos, será mostrado na Figura 2, o esquema contendo todas as malhas originais de controle, as quais tem funções de manter dinamicamente a espessura do material laminado a partir dos *presets* calculados.

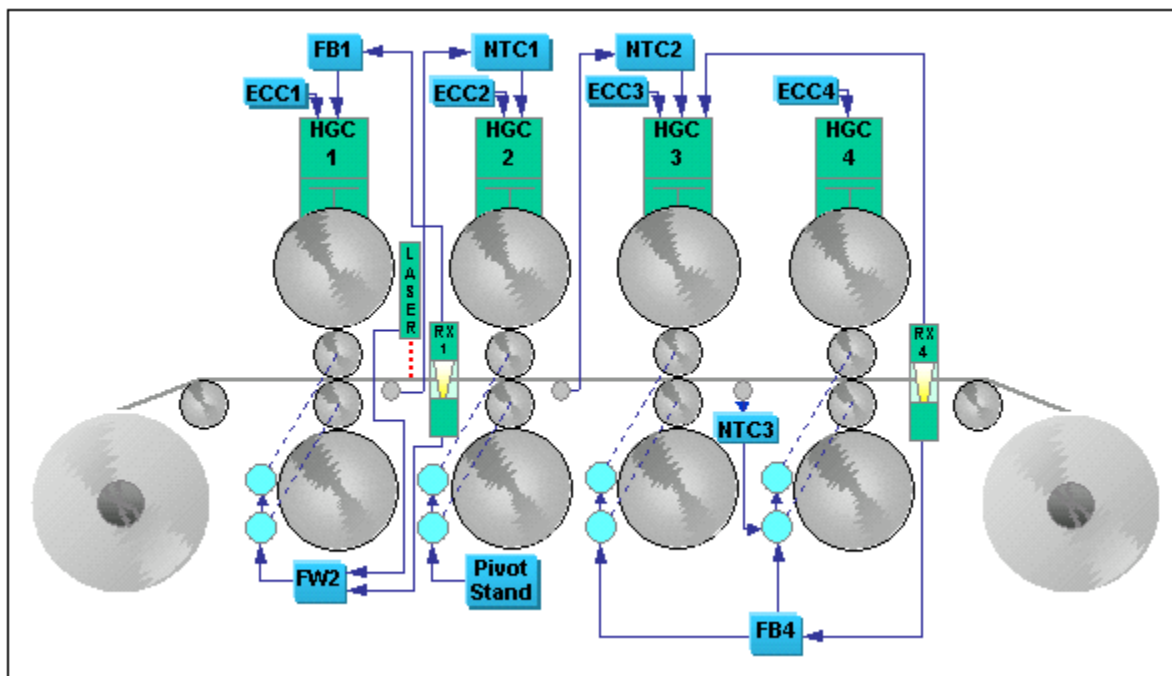


Figura 2 - Modelo Dinâmico Original do Laminador de Tiras a Frio da Cosipa

2. Características Básicas do Laminador de Tiras a Frio da Cosipa

O Laminador de Tiras a Frio da COSIPA possui 4 cadeiras, cada uma delas compreendendo 2 cilindros de encosto e 2 cilindros de trabalho sendo estes (os de trabalho) acionados individualmente por motores de corrente contínua controlados por conversores tiristorizados CA/CC. A força de laminação é aplicada à tira por meio de cápsulas hidráulicas, localizadas no topo de cada uma das cadeiras.

A redução da chapa entre os cilindros de trabalho é causada pelos efeitos da compressão das cápsulas de aperto hidráulico e da tração devido à tensão existente entre duas cadeiras adjacentes. O controle de espessura é realizado pelo AGC (Controle Automático de Espessura), de acordo com o esquema mostrado na Figura 2.

3. O Desempenho Após a Modernização do Laminador e Anterior a este Trabalho

Tabela I - Performance de Espessura após Reforma no Laminador

Thickness performance - TABLE											
Quality package to	CLECIM										
Comments:	Entry Thickness gauge No		Laser Speed out of stand 1 Yes							Total stand hysteresis inferior to 60 tons	
	Entry gauge variation 1% per meter max		Maximum Excentricity measured inferior to 60 tons							(For treatment on welds and metric tons refer to Clecim sp specification)	
Thickness range	0,38 - >0,48		0,49 - >0,99		1,00 - >1,45		1,46 - >3,00				
	Out of tolerance +/- 4,5%		Out of tolerance +/- 3,5%		Out of tolerance +/- 3,0%		Out of tolerance +/- 2,5%				
R = rest of coil	43 (m)		25 (m)		22 (m)		26 (m)				
W1 = weld	1 (m)		3 (m)		2 (m)		0 (m)				
	Out of +/- 2% within +/-4,5%		Out of +/- 2% within +/-3,5%		Out of +/- 2% within +/-3,0%		Out of +/- 2% within +/-2,5%				
W2 = weld	6 (m)		4 (m)		3 (m)		0 (m)				
On gauge											
L = total length - (W+R)											
Classification of tolerance	Const speed V > 300 mpm	Including Acc / Dcc	Const speed V > 300 mpm	Including Acc / Dcc	Const speed V > 300 mpm	Including Acc / Dcc	Const speed V > 300 mpm	Including Acc / Dcc	Including Acc / Dcc		
within +/- 0,5%	76.64% of L	75.17% of L	70.80% of L	69.33% of L	76.69% of L	75.25% of L	83.84% of L	82.09% of L			
within +/- 1,0%	98.17% of L	97.42% of L	95.25% of L	94.68% of L	96.29% of L	95.83% of L	97.79% of L	97.08% of L			
within +/- 1,5%	100.00% of L	100.00% of L	99.43% of L	99.37% of L	99.68% of L	99.65% of L	100.00% of L	100.00% of L			
within +/- 2,0%	100.00% of L	100.00% of L	100.00% of L	100.00% of L	100.00% of L	100.00% of L	100.00% of L	100.00% of L			
Tolerance for											
100% of length L	2.05%	2.23%	2.22%	2.58%	2.00%	2.30%	1.49%	2.03%			

A tabela acima fornece os resultados da porcentagem do corpo e o comprimento das pontas nas bobinas laminadas que ficaram dentro das faixas de tolerâncias pré definidas. As Figuras 3 e 4 mostram, respectivamente, a performance de espessura e os valores do desvio padrão de 500 bobinas, ambos obtidos após a reforma do laminador.

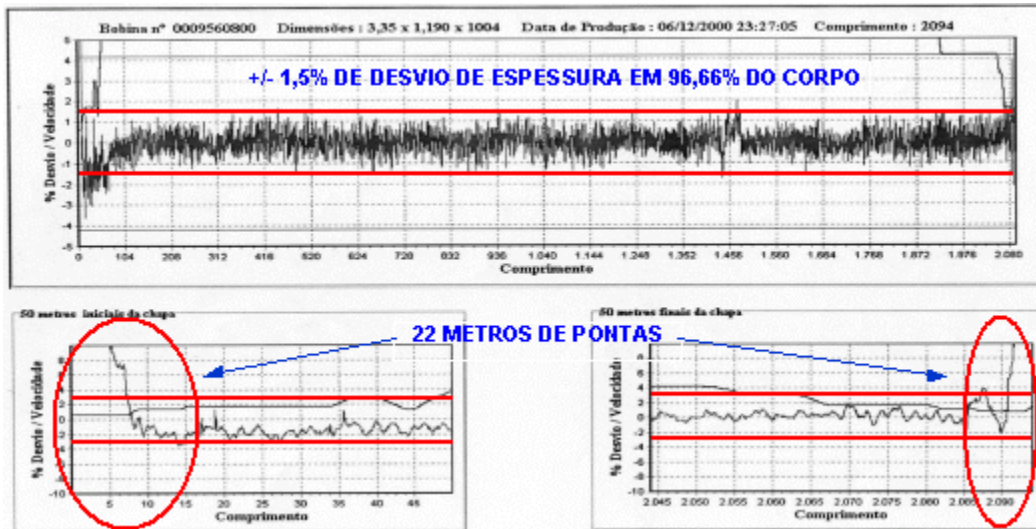


Figura 3 - Gráfico de Espessura de uma Bobina

Esses dados permitirão comparar os resultados originais de desempenho de espessura com aqueles obtidos após a conclusão do presente trabalho.

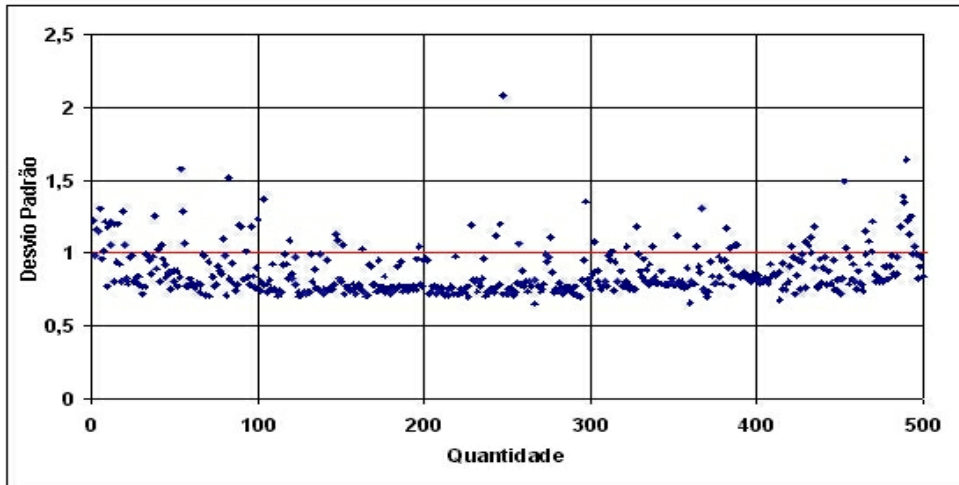


Figura 4 - Gráfico do Desvio Padrão com base em 500 Bobinas

4. As Malhas do Sistema de Controle Implementadas

4.1. Feedback Auxiliar na Cadeira 4 (FB4 Auxiliar)

Através da medição do Raio-X na saída da cadeira 4, constatou-se que a espessura do material estava fora da tolerância, devido à existência de um problema de *traqueamento*¹ durante o encaixe da tira. O sistema de controle FB4 só tem permissão de atuar na correção do material após receber a realimentação de espessura da saída, e esta atuação se dá alterando a bitola na saída da cadeira 3. Em consequência, todo o material entre esta cadeira e o referido Raio-X estaria fora de bitola.

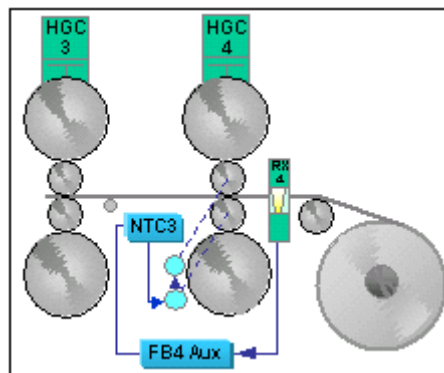


Figura 5 - Feedback Auxiliar na Cadeira 4

¹ Rastreamento da espessura de cada ponto ao longo da tira que está sendo laminada.

Por esse motivo, foi criado um sistema auxiliar com a finalidade de agir diretamente sobre a velocidade da cadeira 4, através do controle de tensão do vão 3-4, utilizando a medição realizada no Raio-X, tornando mais rápida e precisa a atuação do controle. Este sistema é utilizado durante o encaixe e o desencaixe, não atuando durante o regime de laminação.

Durante o desencaixe, o sistema recebe, no momento em que a tira sai da cadeira 2, uma correção antecipada com a finalidade de manter a espessura dentro da tolerância. Esta correção é necessária devido à perda de tração à ré na cadeira 3, que é explicada em detalhes no item seguinte.

4.2. *Feedforward* na Cadeira 3 (FW3)

A análise da parte final da bobina revelou uma forte variação da espessura, que ocorria no momento em que a tira desencaixava da cadeira 1. Tal variação se deve à perda da tração à ré na cadeira 2, que por sua vez origina uma alteração da velocidade da tira no vão 1-2 e a conseqüente variação na bitola do material na saída da cadeira 2. Como tal variação não era prevista pelo sistema de controle, foi implementada uma malha com a função de rastrear e normalizar a espessura do material através da alteração das velocidades das cadeiras 3 e 4, quando a região da tira com espessura alterada estiver sob a cadeira 3.

4.3. Ganho Auxiliar no *Feedback* da Cadeira 1 (FB1 Auxiliar Gain)

O ganho do FB1, assim como o posicionamento do *gap* da cadeira são calculados pelo modelo matemático o qual, sendo do tipo adaptativo, necessita de uma quantidade mínima de bobinas com as mesmas características dimensionais para a otimização de seus cálculos. Como no processo produtivo de laminação dificilmente há homogeneidade nas dimensões das bobinas, o aprendizado do modelo é prejudicado. Por isso, nem sempre os valores calculados são os mais adequados, fazendo com que a espessura programada para o vão 1-2 não seja imediatamente atingida, o que se reflete na espessura final.

Foi então implementada uma malha auxiliar com a finalidade de aumentar o ganho do FB1, objetivando alcançar mais rapidamente o valor correto da espessura do vão, minimizando desta maneira o comprimento fora de bitola durante o encaixe. Esta malha atua somente enquanto a bitola do material estiver acima de uma certa tolerância e até que a tira encaixe na cadeira 4.

4.4. *Feedforward* na Cadeira 1 (FW1)

No final da bobina, após a tira escapar da desenroladeira ocorre uma perda da tração a ré na cadeira 1. Isto ocasiona uma diminuição na redução do material na saída dessa cadeira, com o conseqüente aumento da espessura da tira. Como o ganho da

malha FB1 depende da velocidade do laminador, a correção que ela efetua é feita de forma lenta, e seu efeito é apenas parcial. O FW2, detectando o aumento da espessura no vão 1-2, reduz a velocidade da cadeira 1 para compensar essa variação. Isso significa dizer que haverá uma maior redução na cadeira 2, mantendo a espessura constante na saída dessa cadeira. Quando a ponta da tira desencaixa da cadeira 1, a perda de redução na saída da cadeira 2 é ainda mais significativa, devido à maior diferença de velocidade entre as cadeiras 1 e 2. Isso faz com que a espessura no vão 2-3 se torne ainda maior, dificultando a correção executada pela malha FW3 e refletindo-se numa condição de espessura fora de tolerância no final da tira.

Para minimizar este efeito foi implementada uma malha FW1, que tem a função de manter a espessura da saída da cadeira 1, mudando o patamar de referência de espessura desta cadeira.

5. O Aprimoramento de Sistemas Fundamentais para o Controle da Espessura

5.1. Sistema de Medição da Velocidade da Tira nos Vãos

Mesmo com a implementação de novas malhas de controle existia um potencial para melhoria da espessura do corpo da bobina, isto é, uma diminuição das suas variações. Para que obtivéssemos esse resultado era necessário medir com precisão a velocidade da tira a partir de pequenas velocidades da ordem de 0,1 m/s. Como o medidor a laser não nos possibilitava tal medição, foi desenvolvido um sistema confiável capaz de realizá-la.

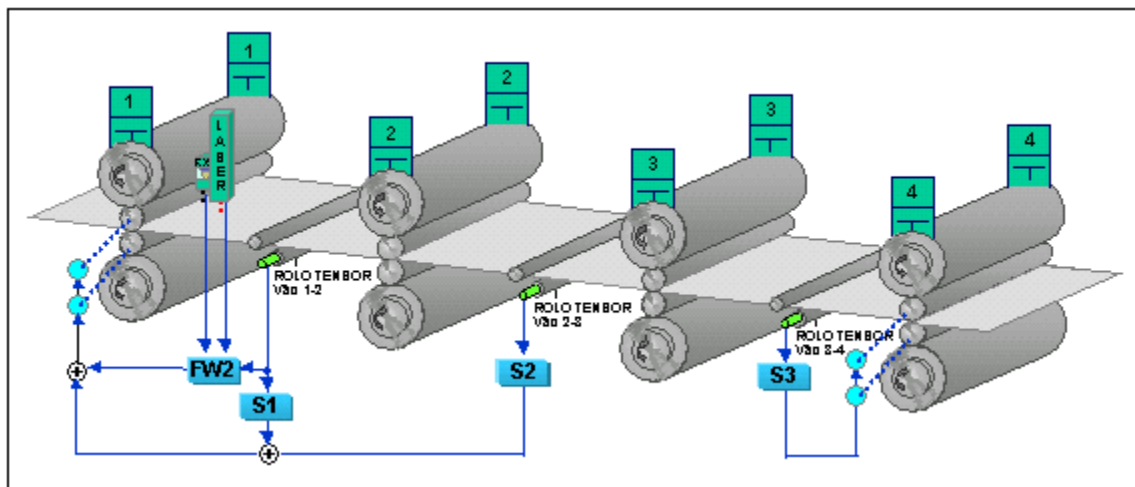


Figura 6 - Esquema das Malhas de Controle FW2 e de Cálculo do Escorregamento

Este novo desenvolvimento foi baseado em um sistema, que consistia de um gerador de pulsos e um sistema de transmissão mecânica acoplados a um rolo tensor,

idealizado e projetado para o laminador, que porém não era utilizado por não funcionar de forma correta. Isto se dava devido a alguns erros em sua concepção:

- Sistema de transmissão mecânica complexo e frágil.
- Tacômetro e cabo de sinal não adequados ao local.
- Filtro do software com constante de tempo muito alta.

Para implementar o novo sistema foi utilizado um gerador de pulsos resistente às condições do local e com dimensões adequadas, o qual foi acoplado diretamente ao rolo tensor. O novo “medidor” foi instalado primeiramente no vão 1-2, pois havia a necessidade premente da correta medição da velocidade da tira. Com o êxito desta implementação, sistemas análogos foram implementados nos outros vãos.

5.2. Sistema de Medição da Excentricidade dos Cilindros.

O sistema, responsável pela medição e correção da excentricidade dos cilindros de encosto do laminador, também recebeu melhorias. Existia um problema com os atuadores e com os sensores indutivos instalados nos cilindros de encostos, os quais não forneciam as respostas adequadas para malha que fazia a correção da posição dos parafusos. Foram feitas mudanças nos atuadores, que passaram a ter dimensões uniformes e distancias fixas com relação aos sensores. Os sensores foram substituídos por outros adequados à função e ao local, isto é, capazes de suportar altas temperaturas e imunes a agentes químicos.

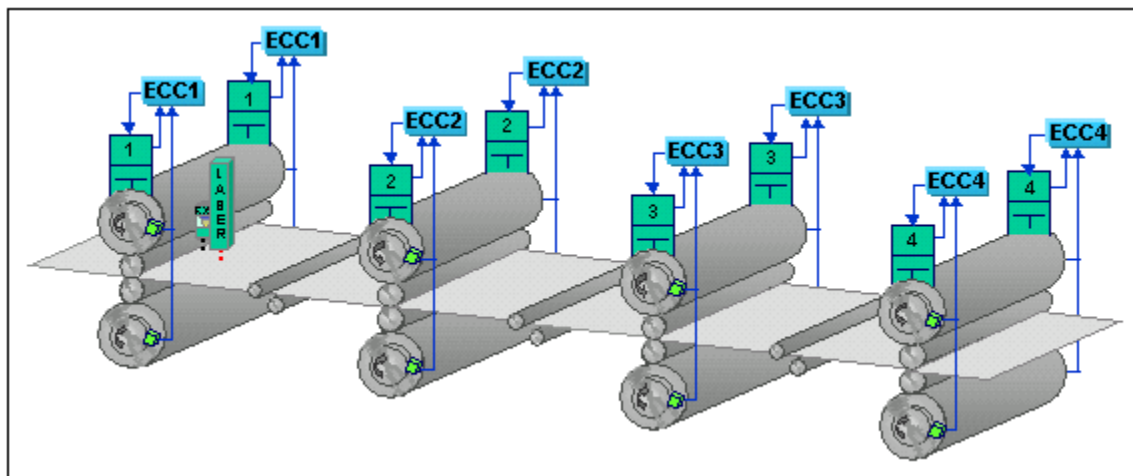


Figura 7 - Esquema da Malhas de Controle da Excentricidade dos Cilindros

6. Conclusões

A performance de espessura obtida após a conclusão deste trabalho pode ser avaliada através dos gráficos mostrados nas Figuras 8 e 9. Comparando-se com os

gráficos vistos nas Figuras 3 e 4, constata-se a diminuição das pontas inicial e final da tira laminada, além da diminuição da variação da espessura no corpo da bobina. Isto proporcionou, ganhos significativos, os quais podem ser resumidos em dois itens:

- Melhoria da performance de espessura no corpo da bobina, garantindo a qualidade e a satisfação de nossos clientes.
- Aumento do rendimento metálico no laminado a frio em 0,25%, reduzindo-se o comprimento das pontas em 36%.

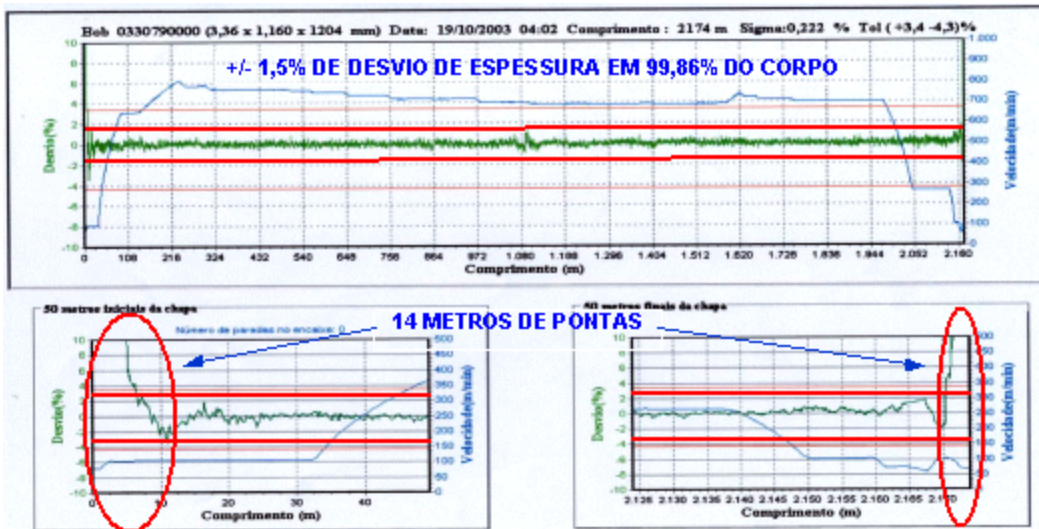


Figura 8 - Gráfico de Espessura de uma Bobina após a Conclusão deste Trabalho

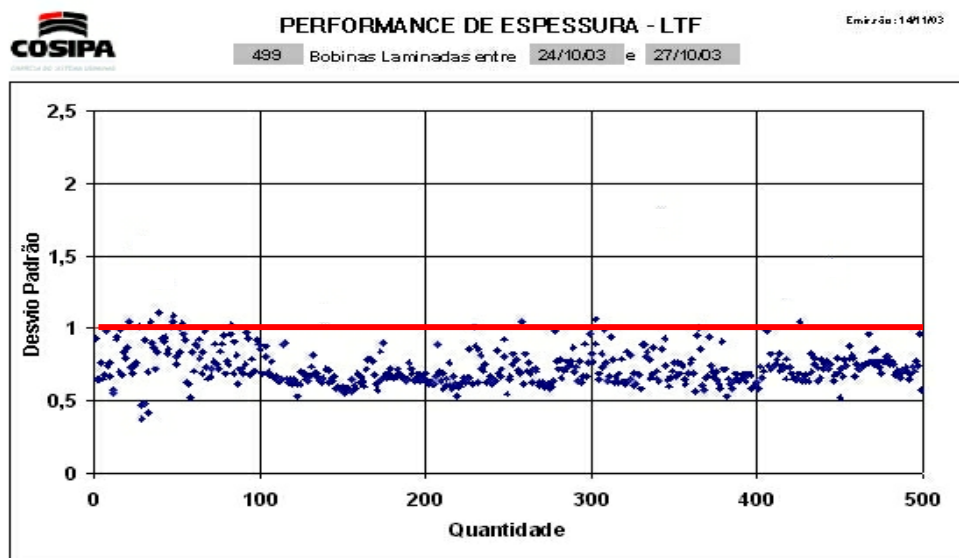


Figura 9 - Gráfico do Desvio Padrão com base em 500 Bobinas

THICKNESS PERFORMANCE IMPROVEMENT AT COSIPA TANDEM COLD MILL⁽¹⁾

Maurício de Freitas Giovannetti⁽²⁾
Sergio Luiz Muratori⁽³⁾

ABSTRACT

The present work describes the improvement of the original thickness control loops in the controllers of Cosipa Tandem Cold Mill as well as the installation of new control loops at stands 1, 3 and 4. The aim of this work was to limit the coil body thickness variation into bands even narrower than those foreseen by the company standards, as well as to decrease of the head and tail coil lengths, increasing the income of the rolled product. Are also described the correction in the backup roll eccentricity detection system and the modification in the strip speed measurement system. Finally, in order to evaluate the results of the work, the original thickness performance is compared with the performance obtained after the proposed modifications.

Key words: Tandem Cold Mill – automatic control – thickness.

⁽¹⁾ Work to be introduced at 41st Rolling Seminar Processes, Rolled and Coated Products – October, 2004 - Joinville - SC - Brazil.

⁽²⁾ Partner of A.B.M., Electrical Engineer, Cold Rolling Technical Support of Companhia Siderúrgica Paulista - Cosipa, Cubatão – SP - Brazil.

⁽³⁾ Electrical Engineer, Cold Rolling Technical Support of Companhia Siderúrgica Paulista - Cosipa, Cubatão – SP - Brazil.