

# OTIMIZAÇÃO DO CONTROLE DE LARGURA NA LINHA DE TIRAS A QUENTE DA USIMINAS<sup>1</sup>

Geraldo Arruda Maia<sup>2</sup>  
Roberto Luís Prosdocimi Maia<sup>3</sup>  
José de Pádua Ferreira<sup>4</sup>

## Resumo

Busca-se com este relatar os esforços para otimização do controle de largura na linha de tiras a quente da Usiminas. As ações nos laminadores desbastadores foram relacionadas com a determinação da posição adequada de abertura dos *Edgers*. Considerou-se as particularidades do processo de redução de largura, envolvendo a interação dos fenômenos termomecânicos nas laminações horizontal e vertical. Inicialmente, as ações foram no sentido de reduzir a variabilidade do acerto de largura, através da introdução de uma nova sistemática de cálculo da abertura dos *Edgers*. Posteriormente, com o auxílio de um simulador *off line*, buscou-se minimizar a sobrelargura dos laminados, dentro dos limites de capacidade dos equipamentos. Com a maior estabilidade e redução da variabilidade do acerto de largura no processo de desbaste, possibilitaram estreitar as faixas de sobrelarguras dos produtos e, conseqüentemente, aumentar o rendimento de corte no PLTCM – *Pickling Line Tandem Cold Mill* da Usiminas.

**Palavras-chave:** Laminação de tiras a quente; Controle de largura; Sobrelargura.

---

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 42º Seminário de Laminação - Processos e Produtos Laminados e Revestidos da ABM, Santos - SP - Brasil, 25 a 28 de outubro de 2005.

<sup>2</sup> Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista, ASQ/CQE, FGV/MBA, Gerência de Departamento de Laminação a Quente da Usiminas; Ipatinga, MG.

<sup>3</sup> Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista, ASQ/CQE, CEPEAD/MBA, Gerência de Departamento de Laminação a Quente da Usiminas; Ipatinga, MG.

<sup>4</sup> Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista, M.Sc., ASQ/CQE, Gerência de Departamento de Laminação a Quente da Usiminas; Ipatinga, MG.

## 1 INTRODUÇÃO

O desbaste é uma etapa intermediária do processo de laminação de tiras a quente. O seu controle proporciona largura e espessura adequadas ao esboço, com forma do perfil, planicidade, aspecto superficial, microestrutura e temperatura convenientes às etapas subseqüentes, visando a melhoria do rendimento de corte nas linhas de decapagem e no PLTCM – Pickling Line Tandem Cold Mill da Usiminas.

O controle adequado da laminação no desbaste consiste na previsão das aberturas dos cilindros de laminação para obtenção das larguras e espessuras visadas. Esse controle possibilita também que sejam mantidas as cargas de laminação dentro dos limites de capacidade dos equipamentos, durante as etapas de reduções de espessura e de largura. Para tal, devem-se considerar as interações entre as duas componentes de deformações, horizontal e vertical. Nesse sentido, o controle preciso da largura torna-se complexo, necessitando uma estratégia definida para o ajuste dos cilindros verticais, a cada passe, em função da redução total de largura e da escala de passes para controle de espessura. Deve-se salientar o caráter dinâmico do procedimento para efetuar as reduções de espessura necessárias com controle de largura, pois, o ajuste na largura influencia a espessura e o na espessura influencia a largura, afetando a previsão final.

Neste contexto, o auxílio de um simulador *off line*, baseado num modelo matemático para avaliação das influências térmica e mecânica<sup>(1,2)</sup>, favorece a otimização do controle dimensional do laminado, no desbaste.

## 2 DESCRIÇÃO DO SETOR DE DESBASTE

O setor de desbaste da Linha de Tiras a Quente da Usiminas é constituído de dois laminadores quádruplo reversíveis, equipados com *Edgers* (laminadores redutores de largura) nas entradas das cadeiras. O primeiro Desbastador, R1, tem uma potência disponível de 9.000 kW para redução de espessura e de 2.100 kW para redução de largura. O segundo, R2, tem uma potência disponível de 7.500 kW para redução de espessura e de 450 kW para redução de largura.

## 3 SISTEMÁTICA DO CÁLCULO DE ABERTURA DOS *EDGERS*

A sistemática de cálculo da abertura dos *Edgers* dos Desbastadores R1 e R2 até meados de 2004 era baseada em tabelas, com valores discretos, constantes por faixas de larguras, que definia os valores a serem acrescidos ou reduzidos na abertura dos seus cilindros, em relação às larguras visadas, Equação 1, definidos por destino dos produtos, laminados a frio (TF) ou a quente (BQ). Esses valores tabelados são empíricos e destinados a compensar, em parte, as expansões térmicas dos laminados e incorporando, no sentido de atenuar, parte dos fenômenos de alargamento durante redução de espessura<sup>3 e 4</sup>, função das larguras das placas laminadas.

$$\text{Gap}_{(i)} = \text{ML} - \Delta L_i(P_j) \quad (1)$$

Sendo:

$\text{Gap}_{(i)}$  - *Gap* dos *Edgers* calculado,  $i = 1$  ou  $2$ , mm;

ML - largura de produto visada, mm;

$\Delta L_i(P_j)$  - incremento por faixas de larguras, para determinação do *gap* dos *Edgers*, em função do destino do produto,  $P_j$ , TF ou BQ, mm.

A utilização da sistemática de cálculo da abertura do *edger*, baseada em tabelas, em determinados casos apresentavam saltos nos valores de incremento ou decremento ( $\Delta L$ ). Nessas transições induzia diferenças significativas no cálculo dos *gaps* para pequenas variações de larguras nas placas. A partir dessas dificuldades foram estabelecidas e implantadas funções lineares, ajustadas com base nos valores atuais, conforme Equação (2), Figura 1.

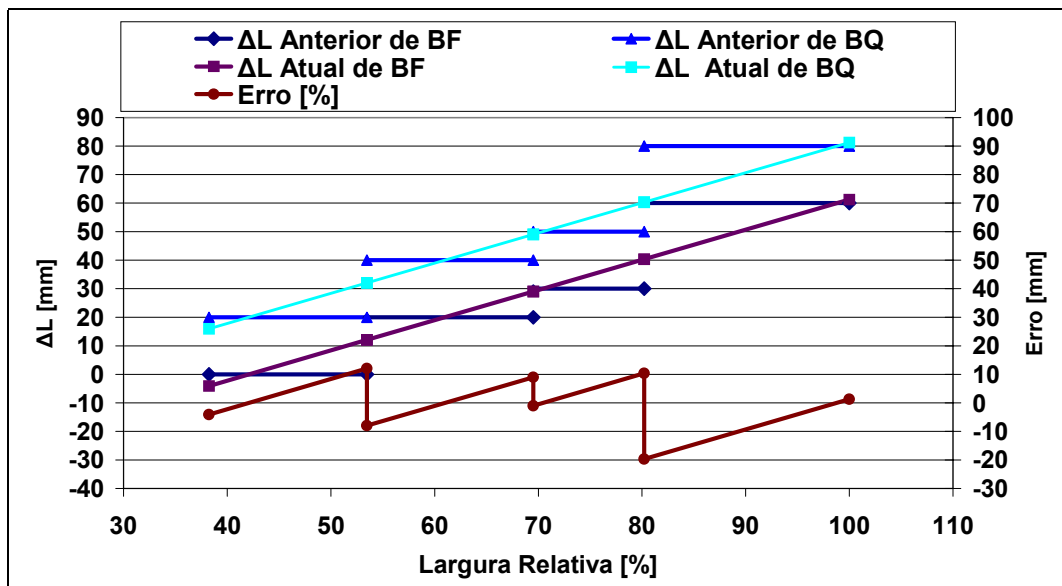
$$\Delta L_{(i)} = a_{(i,j)} \cdot ML - b_{(i,j)} \quad (2)$$

Sendo:

$\Delta L_{(i)}$  - incremento para determinação do *gap* dos *Edgers* em função das larguras de produtos visadas, por desbastador,  $i = 1$  e  $2$ , mm;

$a_{(i,j)}$  - coeficiente angular do incremento de determinação do *gap* por desbastador e por destino de produto, função do estado térmico e do alargamento durante laminação;

$b_{(i,j)}$  - constante de ajuste do incremento de largura por Desbastador e destino de produto, mm.



**Figura 1.** Incrementos de largura,  $\Delta L$ , anterior e a função proposta, para o cálculo dos *Gaps* dos *Edgers* em função da largura e do destino dos produtos por desbastador, com o erro calculado entre os dois métodos.

As novas equações para determinação dos valores de  $\Delta L$ , em função dos destinos dos produtos e Desbastador, foram testadas e implantadas a partir de 01/06/04, visto que o novo procedimento apresentou o comportamento esperado. Foram selecionados os registros de processo no período de 14/05/04 a 20/06/04, para análise comparativa do desempenho, num período anterior e posterior essas novas funções.

#### 4 SIMULADOR OFF LINE

O auxílio de um simulador *off line* do processo de desbaste, permite um melhor entendimento sobre o comportamento da largura da placa, durante a laminação. A título de ilustração, apresentam-se dois exemplos de aplicação do simulador para prever a variação da largura dos laminados durante o processamento no desbaste. Esses fenômenos devem ser considerados nos cálculos dos *gaps* dos

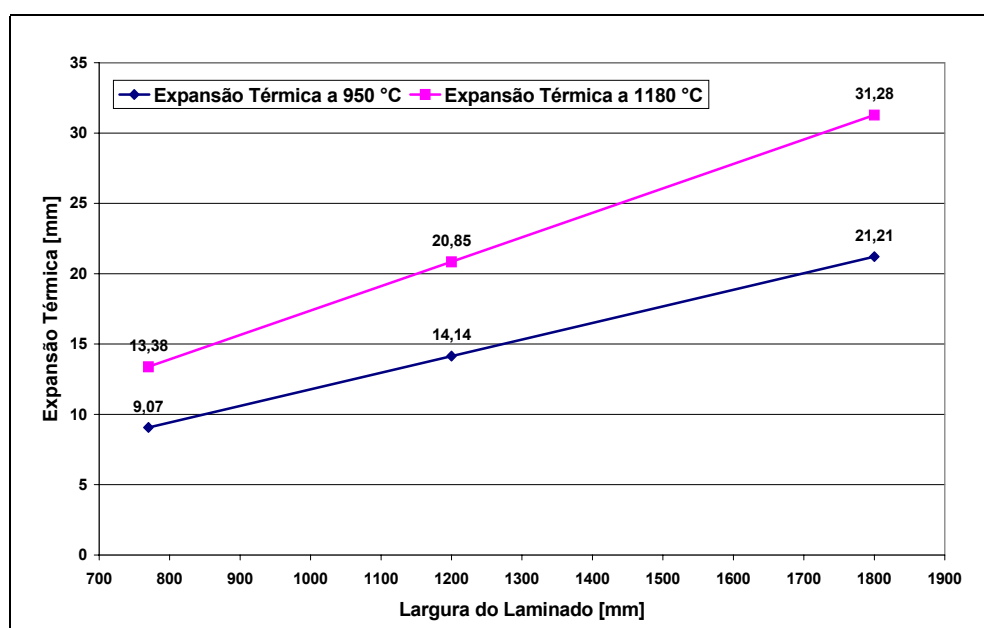
Edgers.

No primeiro exemplo foram realizadas simulações, sem o uso dos laminadores de bordas, para três larguras de placas. Posteriormente, foram analisados os alargamentos durante a laminação, por passe e total, Tabela 1. O alargamento nessa etapa é um fenômeno inerente ao processo de laminação<sup>(3,4)</sup> e com um elevado grau de complexidade.

**Tabela 1.** Comportamento para diferentes larguras de placas durante a etapa de desbaste, a partir de sua dimensão a frio e após reaquecimento, baseado em modelos de previsão de alargamento por passe e total.

D E S B A S E	P A S S E	LARGURAS DAS PLACAS A FRIO [mm]								
		770			1200			1800		
		Largura a Quente [mm]		Alarga- mento [mm]	Largura a Quente [mm]		Alarga- mento [mm]	Largura a Quente [mm]		Alarga- mento [mm]
		Entrada	Saída		Entrada	Saída		Entrada	Saída	
R1	1	782,1	796,8	14,7	1218,8	1232,7	13,9	1828,3	1840,4	12,1
	2	796,8	807,9	11,1	1232,7	1242,9	10,2	1840,4	1849,1	8,7
	3	807,9	816,2	8,3	1242,9	1250,3	7,4	1849,1	1855,1	6,0
	4	816,2	822,7	6,5	1250,3	1255,7	5,4	1855,1	1859,3	4,2
	5	822,7	827,5	4,8	1255,7	1259,5	3,8	1859,3	1862,1	2,8
R2	1	827,5	833,3	5,8	1259,5	1263,9	4,4	1862,1	1865,0	2,9
	2	833,3	836,5	3,2	1263,9	1266,0	2,1	1865,0	1866,1	1,1
	3	836,5	838,0	1,5	1266,0	1266,6	0,6	1866,1	1866,0	0,1
T. Quente				55,9			47,8			37,7

No outro exemplo foi determinada a largura em relação ao estado térmico do esboço durante a laminação. Foram avaliadas as expansões térmicas nas temperaturas médias de 1.180 °C (1° Passe) e a 950 °C (após o último passe), Figura 2.



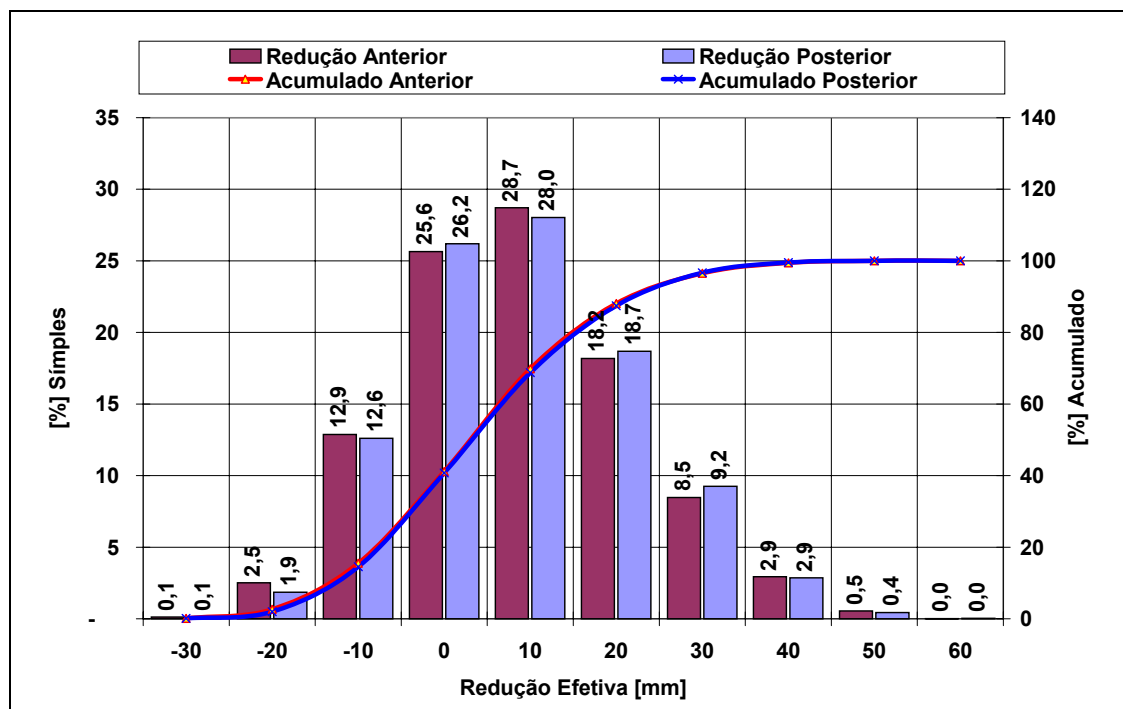
**Figura 2.** Expansão térmica do materiais em função da largura nas temperaturas de 1.180 e 950°C, prevista pelo Simulador do Processo de Desbaste.

Os esforços no controle dos laminadores são direcionados para obtenção das larguras à temperatura ambiente, devendo-se considerar os alargamentos e contrações térmicas durante a laminação e as interações das duas componentes de deformação, horizontal e vertical <sup>(3,4)</sup>. Isso é possível através de ajustes adequados nos *gaps* dos *Edgers*, o que foi incorporado no cálculo do valor de  $\Delta L$ .

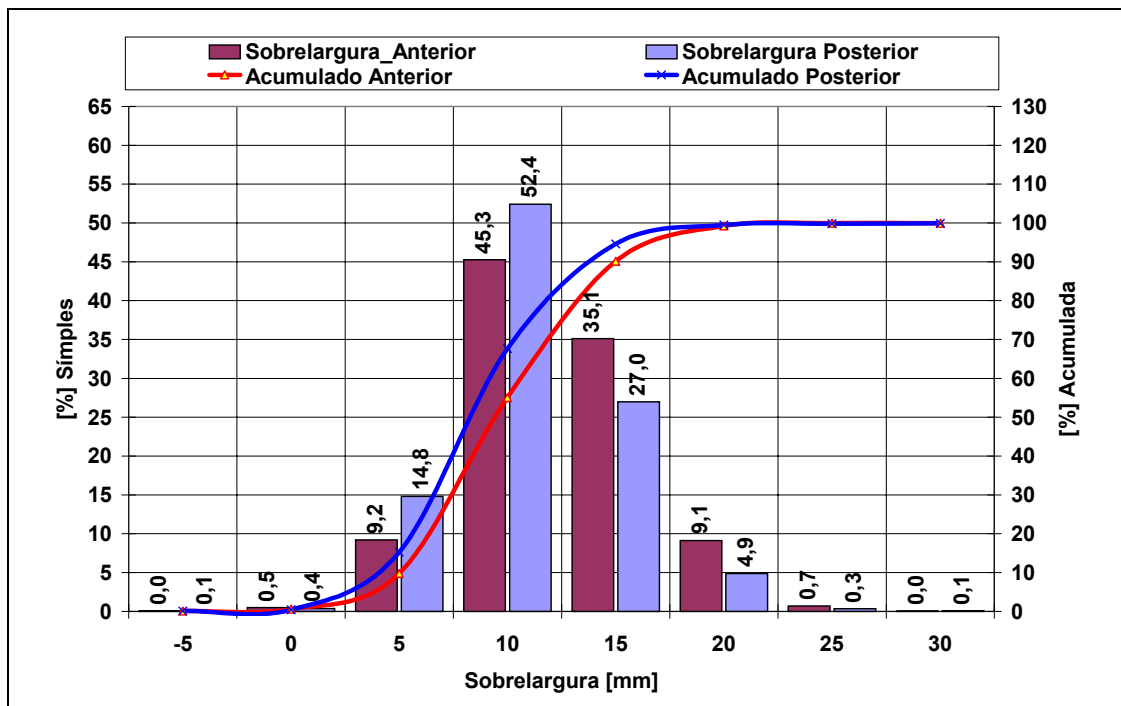
Para demonstrar a eficiência da nova sistemática de controle dos *edgers* foi elaborada uma análise estatística comparando a anterior e a atual.

## 5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos compreendem os períodos anterior e posterior a implantação da nova sistemática de cálculo do  $\Delta L$ . As variáveis analisadas foram a redução efetiva e as sobrelarguras obtidas. Esses resultados distribuídos por frequência são apresentados nas Figuras 3 e 4. Observa-se, através de uma análise comparativa entre as duas bases de dados, anterior e posterior à modificação, que o *mix* de larguras de placas para as larguras de produtos foi mantido, níveis de reduções de larguras similares, o que torna aceitável comparar a efetividade da nova sistemática de cálculo do *gap* dos *Edgers*. É importante ressaltar que, após essa modificação, foi constatado que o nível de atuação dos operadores reduziu-se bastante, aplicando apenas pequenos ajustes, dependendo do comportamento das larguras dos materiais no Trem Acabador.



**Figura 3.** Reduções efetivas obtidas no período anterior e posterior às modificações do cálculo do *gap* dos *Edgers*.



**Figura 4.** Resultados de sobrelarguras obtidas durante o período anterior e posterior às modificações do cálculo do *gap* dos Edgers.

Observa-se pela análise comparativa que nos dois períodos foram similares as frequências para as mesmas faixas de alargamentos/reduções, evidenciando mesma distribuição a ser avaliada estatisticamente por comparação de médias.

Já os resultados de sobrelarguras nos dois períodos apresentaram distribuições distintas, Figura 4. O resultado com a nova metodologia apresentou maiores concentrações nos valores das faixas de controle de 0 a 10 mm e diminuição nas superiores a 10 mm, o que se visa durante o seu controle.

Os resultados de redução efetiva e de sobrelarguras foram submetidos a uma análise estatística de significância de médias, mais especificamente um teste de hipótese<sup>(5)</sup>, teste Z. Inicialmente, para confirmação da referência, foi verificado se para os dois casos foram mantidas as reduções de largura efetiva, isto é, se apresentam numa mesma base de comparação. Em seguida, para avaliar a influência dessas novas equações, com as duas bases de dados nos períodos anterior e posterior a modificação. Os testes evidenciam que nas duas bases de dados foram praticadas reduções similares e que a nova metodologia influenciou nos valores de sobrelarguras, Tabelas 2 e 3.

**Tabela 2.** Análise estatística das Reduções.

Estatística	Red. Efetiva Antes	Red. Efetiva Depois
Desvio Padrão	13,37	13,19
Média	4,18	4,52
Tamanho das Amostras	11777	13986

Análise Estatística - Teste Z	
Hipótese $H_0$	Médias Iguais
Hipótese $H_1$	Médias Diferentes
Resultado Calculado	2,09 => 96,34%
99%	2,58

Conclusão 1: aceita-se a hipótese  $H_0$ , as médias são iguais, num intervalo de confiança com 96,34% de probabilidade.

**Tabela 3.** Análise estatística das Sobrelarguras.

Estatística	Sobrelarguras Antes	Sobrelarguras Depois
Desvio Padrão	3,98	3,80
Média	10,25	9,08
Tamanho das Amostras	11777	13986

Análise Estatística - Teste Z	
Hipótese $H_0$	Médias Iguais
Hipótese $H_1$	Médias Diferentes
Resultado Calculado	24,02
99%	2,58

Conclusão 2: rejeita-se a hipótese  $H_0$  e aceita-se a hipótese alternativa  $H_1$ , confirmando que as médias são originárias de populações diferentes, com média e variabilidade inferiores, após as modificações implantadas.

## 6 RESULTADOS OBTIDOS NA LINHA DE TIRAS A FRIO

A maior estabilidade no acerto da largura visada e redução da variabilidade do processo com a nova sistemática de cálculo do *gap* do *Edger*, na entrada do Trem Acabador, possibilitaram estreitar as faixas de sobrelarguras dos produtos. Desta forma, iniciou-se um processo de otimização da sobrelargura visando ao aumento de rendimento nos processos subseqüentes. É importante ressaltar que foi realizado um trabalho no Trem Acabador para estabilização da largura dos laminados, predominantemente no controle de tensão entre cadeiras, através da forma de atuação dos *Loopers* e no controle do fluxo de massa.

A partir de outubro de 2004 foram realizados os ajustes nas sobrelarguras com monitoramento do rendimento de corte, percentual de apara e sobrelargura geral no PLTCM – *Pickling Line Tandem Cold Mill* da Usiminas, Figuras 5 a 7.

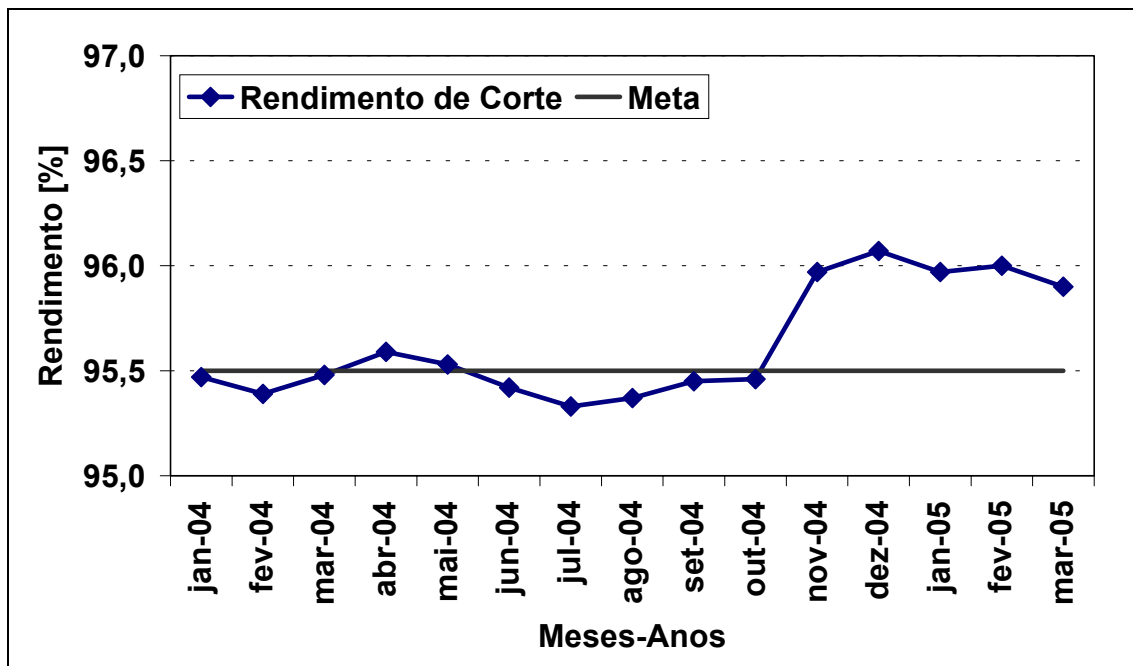


Figura 5. Rendimentos de corte no PLTCM obtidos nos períodos anterior e posterior aos ajustes das sobrelarguras visadas na saída do Trem Acabador, a partir de novembro de 2004.

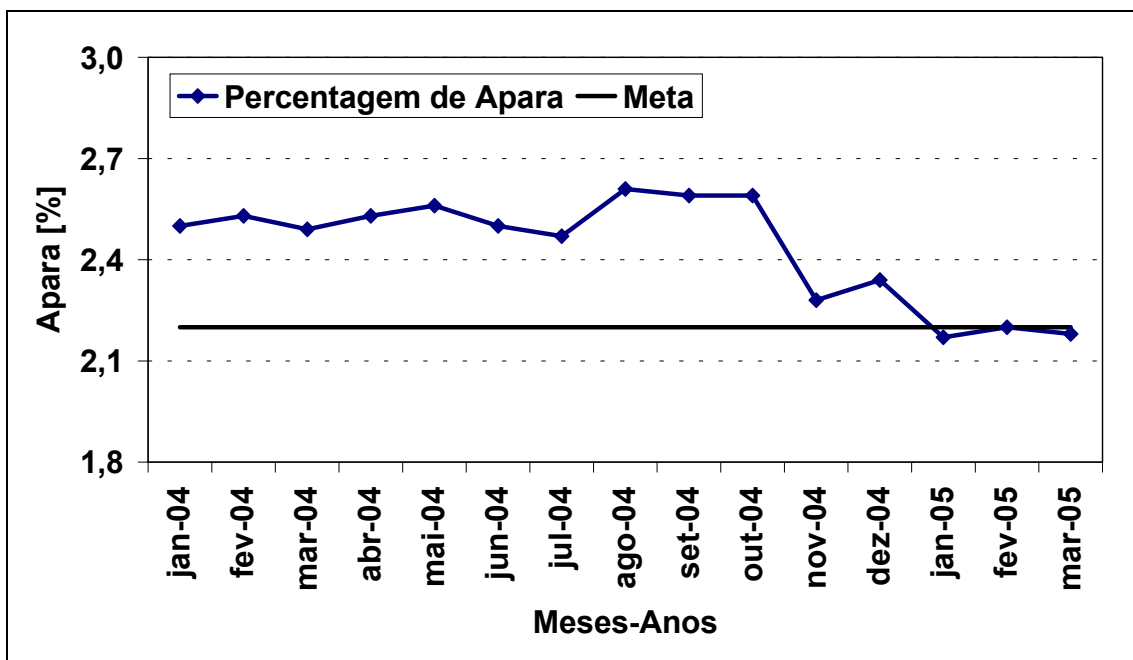


Figura 6. Percentuais de perdas por aparas no PLTCM obtidos nos períodos anterior e posterior os ajustes das sobrelarguras visadas na saída do Trem acabador, a partir de novembro de 2004.



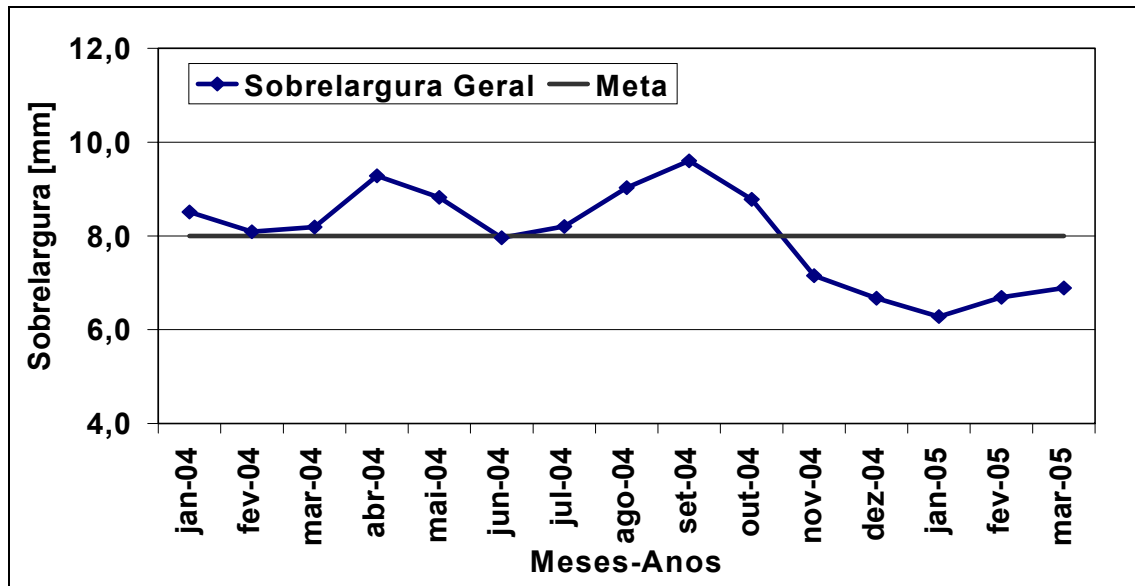


Figura 7. Sobrelarguras médias das bobinas obtidas no PLTCM nos períodos anterior a posterior aos ajustes das sobrelarguras visadas na saída do Trem acabador, a partir de novembro de 2004.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adoção da nova metodologia de cálculo dos *gaps* dos desbastadores da Linha de Tiras a Quente da Usiminas reduziu a variabilidade dos valores de larguras obtidos. Os resultados evidenciam que, a partir das duas bases de dados, foram praticadas reduções similares e que a nova metodologia influenciou positivamente nos valores de sobrelarguras, apresentando uma maior concentração relativa dos dados nas faixas de controle, com menor dispersão.

A adoção dessa nova metodologia possibilitou a redução dos valores de sobrelarguras praticadas com reflexos positivos nos rendimentos de corte, evidenciados através dos valores de percentual de aparas e sobrelargura no PLTCM da Usiminas.

## REFERÊNCIAS

- 1 FERREIRA, J. P.; GIACOMIN, C. N.; TEIXEIRA, M. H. Simulador do Processo de Desbaste da Linha de Tiras a Quente da Usiminas com Laminadores Redutores de Largura. In: Seminário de Automação de Processos da ABM; 2002, Vitória. ES.
- 2 SHIDA, S. Empirical Formula of flow-stress of Carbon Steel: Resistance to Deformation of Carbon Steel at elevated Temperature. Journal of Japan society Plasticity. V. 10, n.º 103. Pp. 610-620. 1969.
- 3 GINZBURG, V. B. Steel-Rolling Technology: Theory and Practice, Marcel Dekker, New York, 1989.
- 4 SHIBARRARA, T.; MISAKA, Y.; KONO, T.; KORIKI, M.; TAKEMOTO, H. Edger Set-Up Model at Roughing Train in Hot Mill. Journal of the Iron and Steel Institute of Japan, vol. 67, n.º 15, 1981, pp. 2509-2515.
- 5 STEVENSON, W.J. Estatística aplicada à administração. São Paulo: Habra Ltda, 2001. 495p.

# OPTIMIZATION OF THE WIDTH CONTROL OF THE USIMINAS HOT STRIP MILL<sup>1</sup>

Geraldo Arruda Maia<sup>2</sup>  
Roberto Luís Prosdocimi Maia<sup>3</sup>  
José de Pádua Ferreira<sup>4</sup>

## Abstract

This report shows the efforts taking to improve the width control optimisation at the Usiminas hot strip mill. The actions were related to determine the appropriated edgers' opening for the rolling mills roughers. The particularities, of the width reduction process, were considered, such as the interaction of the thermomechanics phenomenas during horizontal rolling. Initially, the actions were taken in order to reduce the error between the real and aim width. For this, was used a new systematic opening edgers calculation. Later, using an off line simulator, that considers mathematical thermal and mechanical model, we work to reduce the over-width taking into account the equipment capacity. As a result, we got a width variability reduction and also was possible to narrow the strips over-width and increase the metal yield at the PLTCM - Pickling Line Tandem Cold Mill of Usiminas.

**Key words:** Hot strip line; Width control; Over-width.

---

<sup>1</sup> *Technical contribution to the 42<sup>nd</sup> Rolling Seminar – Processes, Rolled and Covered Products of ABM, October 25 to 28, 2005 - Santos - SP - Brazil.*

<sup>2</sup> *Member of ABM, Metallurgist Engineer, ASQ/CQE, FGV/MBA, Management of Department of Usiminas Hot Mill; Ipatinga, MG.*

<sup>3</sup> *Member of ABM, Metallurgist Engineer, ASQ/CQE, CEPEAD/MBA, Management of Department of Usiminas Hot Mill; Ipatinga, MG.*

<sup>4</sup> *Member of ABM, Metallurgist Engineer, M.Sc., ASQ/CQE, Management of Department of Usiminas Hot Mill; Ipatinga, MG.*