

# MODERNIZAÇÃO DO MEDIDOR DE PERFIL DO LAMINADOR DE TIRAS A QUENTE DA USIMINAS<sup>1</sup>

*Gilson Domingos<sup>2</sup>  
Valter Caio Marçal<sup>3</sup>  
Carlos Alberto Resende de Andrade<sup>4</sup>*

## Resumo

A medição de perfil da tira na saída de laminadores do tipo acabador baseia-se na aquisição contínua de espessura no sentido transversal, isto é, ao longo da largura. Na Usiminas, os valores do medidor de espessura fixo e do medidor móvel são utilizados para determinação do coroamento e cunha do material. O modelo matemático de controle de forma do laminador utiliza estas medidas em seu aprendizado para obter melhores acertos no *setup*, com a finalidade de atingir os requisitos dimensionais e de forma das bobinas. Este trabalho apresenta as melhorias implementadas no medidor de perfil da Laminação de Tiras a Quente da Usiminas e os benefícios alcançados, tais como: maior disponibilidade do medidor, redução do tempo de análise através da visualização das medições nas estações da rede corporativa, maior número de informações estatísticas do processo, redução de custos de manutenção e consumo de papel. A modernização consistiu na substituição de um computador modelo PDP11/73 da Digital por um sistema baseado em controladores lógicos programáveis e microcomputador utilizando o software LabView 6i.

**Palavras-chave:** Medição de perfil; Laminação de tiras a quente; LabView.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 9º Seminário de Automação de Processos da ABM, Curitiba, PR, 05 a 07 de outubro de 2005.*

<sup>2</sup> *Engenheiro Eletricista, ASQ/CQE, Gerência de Departamento de Projetos, Instrumentação e Automação da Usiminas; Ipatinga, MG.*

<sup>3</sup> *Supervisor de Instrumentação, Gerência de Departamento de Projetos, Instrumentação e Automação da Usiminas; Ipatinga, MG.*

<sup>4</sup> *Membro da ABM, Engenheiro Eletricista, ASQ/CQE, FGV/MBA, Gerência de Departamento de Projetos, Instrumentação e Automação da Usiminas; Ipatinga, MG.*

## 1 INTRODUÇÃO

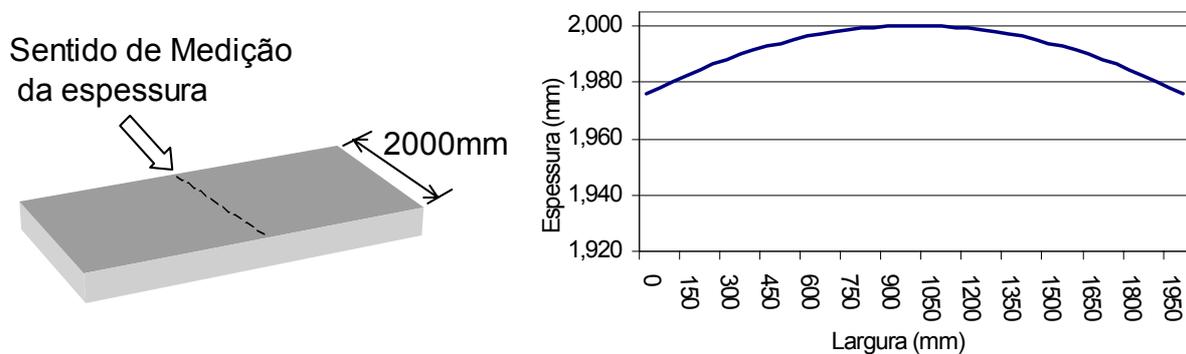
A medição *on line* da espessura no sentido transversal de tiras laminadas a quente<sup>1</sup> é utilizada em laminadores acabadores para determinar o perfil e possibilitar os cálculos da coroa e cunha do laminado. Esses itens são fundamentais para o controle da espessura ao longo da seção transversal da tira.

Visando melhorar a qualidade de seus produtos, a Usiminas investiu na instalação de um sistema de controle de forma no laminador de tiras a quente.<sup>2,3</sup> Esse sistema necessita que os dados da coroa e cunha sejam fornecidos *on line* para garantir a adaptação do modelo matemático ao processo. Com o aumento da produção de 200 para 300 mil toneladas/mês, o medidor antigo mostrou-se inadequado ao novo ritmo, não sendo capaz de medir o perfil de todas as tiras, além de apresentar um alto índice de falhas, que motivou sua modernização.

O sistema de medição de perfil está instalado na saída da última cadeira do laminador acabador. O computador PDP11/73 foi substituído por um sistema com arquitetura *Supervisory Control And Data Acquisition* (SCADA) composta de dois controladores lógicos programáveis (CLP) e dois microcomputadores. Desenvolveu-se um sistema supervisorio específico utilizando o software LabView 6i. Da sua composição original foram mantidos os dois medidores de espessura por raios X.

## 2 CONCEITO DE MEDIÇÃO DE PERFIL

Para executar a medição de perfil de uma tira é necessário medir a espessura no sentido da largura conforme representado na Figura 1.



**Figura 1.** Esquema de medição da espessura e gráfico representativo.

O perfil é calculado pela subtração dos valores medidos em cada ponto da largura em relação à medida do centro, Equação 1. Na Figura 2 é apresentado o perfil na forma gráfica em função da largura da tira.

$$\Delta e = Esp_i - Esp_{centro} \quad (1)$$

Sendo:

$\Delta e$  = diferença de espessura, ( $\mu\text{m}$ );

$Esp_i$  = espessura medida no ponto da largura  $i$ , (mm);

$Esp_{centro}$  = espessura medida no centro da largura, (mm).

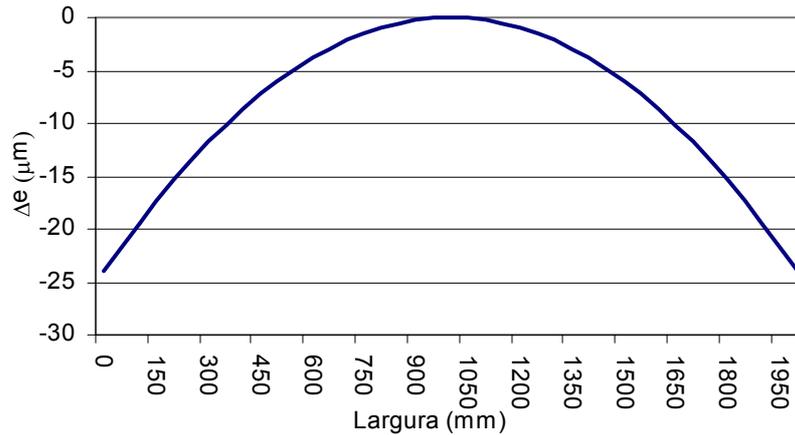


Figura 2. Perfil da tira representando a diferença de espessura do centro em relação às bordas.

### 3 MEDIÇÃO DE PERFIL E CÁLCULO DA COROA E CUNHA

#### 3.1 Medição de Perfil

A medição de perfil, realizada na saída do laminador acabador de tiras a quente da Usiminas, utiliza os valores de espessura de dois medidores por raios X, sendo um fixo e outro móvel. O medidor fixo é posicionado no centro da linha de laminação e suas medições se destinam a duas aplicações: para o controle de espessura do laminador (*Automatic Gage Control - AGC*) e para o cálculo do perfil transversal do material. O medidor móvel percorre toda a largura da tira medindo a espessura continuamente. Para a obtenção do perfil é feita a composição das duas medições, onde a diferença de posição entre os medidores é compensada considerando-se a velocidade da tira, o que permite que as medições das bordas e do centro estejam alinhadas.

As quatro variáveis utilizadas para o cálculo do perfil são: espessura do medidor fixo, espessura do medidor móvel, velocidade da tira e a posição do medidor móvel em relação à largura da tira, Figura 3. O deslocamento do medidor é realizado em duas velocidades: 30 mm/s nas bordas (V1) e 150 mm/s no centro (V2).

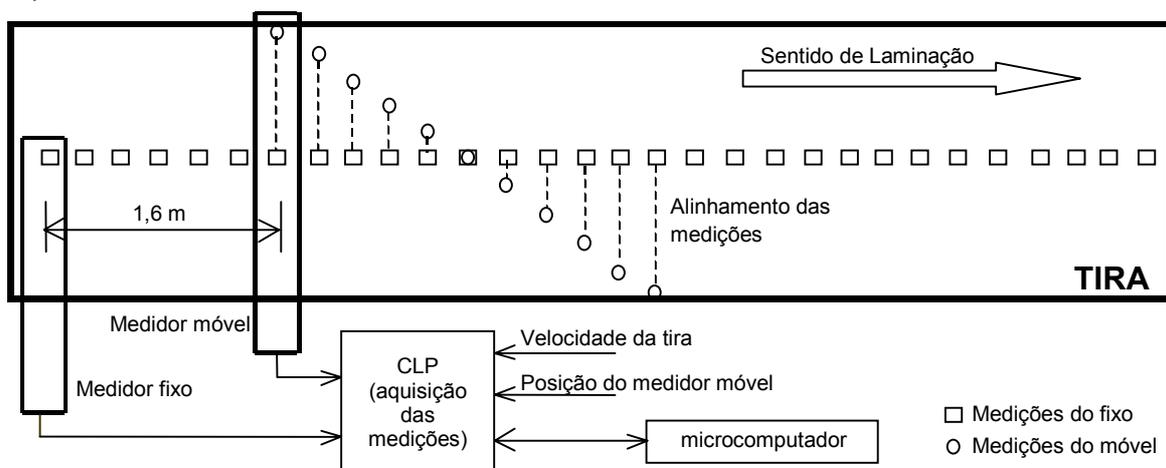


Figura 3. Diagrama do sistema de medição de perfil.

### 3.2 Cálculo da coroa e cunha

Coroa é a diferença de espessura entre o centro e a média das bordas no lado de trabalho (WS) e no lado de acionamento (DS) dispostas simetricamente. Associa-se a informação da posição da borda utilizada como referência no cálculo, Equação 2. O medidor converte os valores de espessura em desvios, tendo como base a espessura visada.

Para os cálculos da coroa e cunha utilizam-se as medições do medidor móvel executadas nas posições a 25, 40, 75 e 100 mm das bordas.

$$Coroa_i = DVesp_{centro} - \left( \frac{DVespDS_i + DVespWS_i}{2} \right) \quad (2)$$

Sendo:

$Coroa_i$  = valor da coroa a  $i$  mm da borda, ( $\mu\text{m}$ );

$DVesp_{centro}$  = desvio de espessura medida no centro da largura, ( $\mu\text{m}$ );

$DVespDS_i$  = desvio de espessura medida a  $i$  mm da borda DS, ( $\mu\text{m}$ );

$DVespWS_i$  = desvio de espessura medida a  $i$  mm da borda WS, ( $\mu\text{m}$ ).

A cunha é a diferença de espessura entre as bordas. Associa-se a informação da posição da borda utilizada como referência no cálculo, equação 3.

$$Cunha_i = DVespDS_i - DVespWS_i \quad (3)$$

Sendo:

$Cunha_i$  = valor da cunha a  $i$  mm da borda, ( $\mu\text{m}$ ).

### 3.3 Exemplo

Para uma tira de 1000 mm de largura com uma velocidade média de 10 m/s, Figura 4, o medidor móvel completa o percurso total da largura, após a passagem de 147 m de tira.

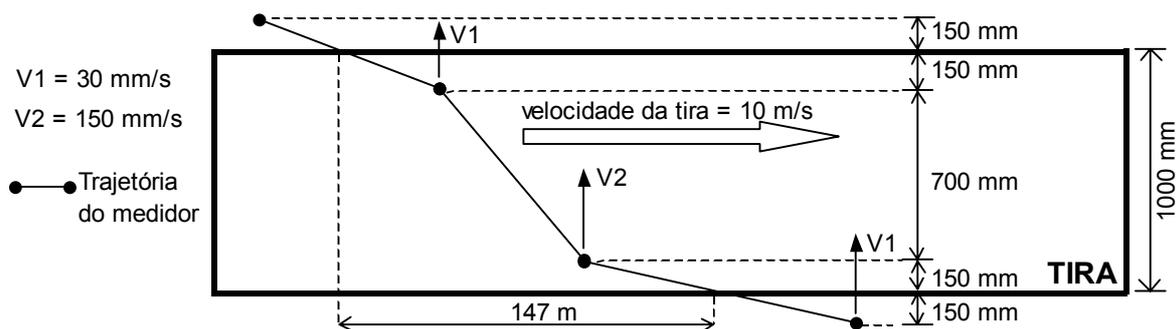
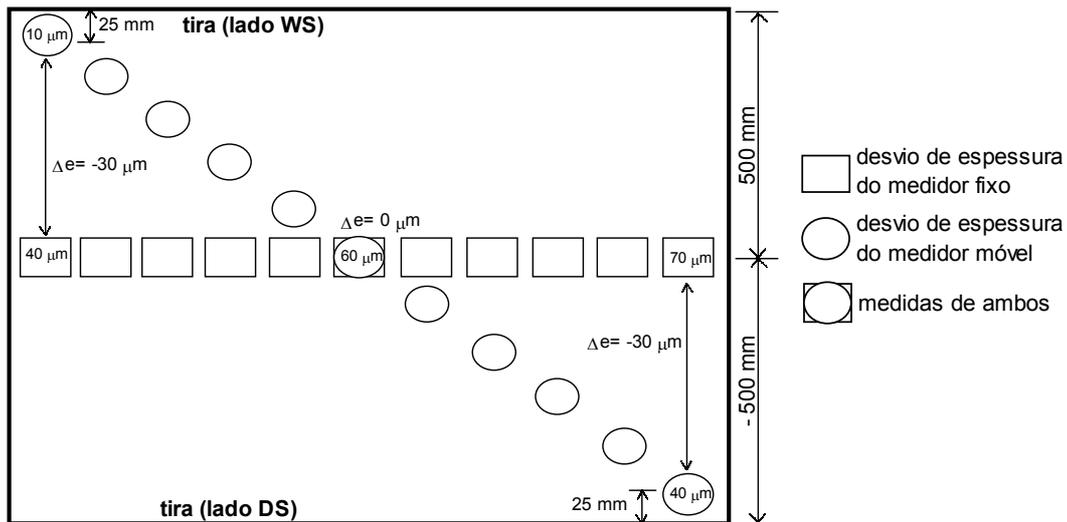


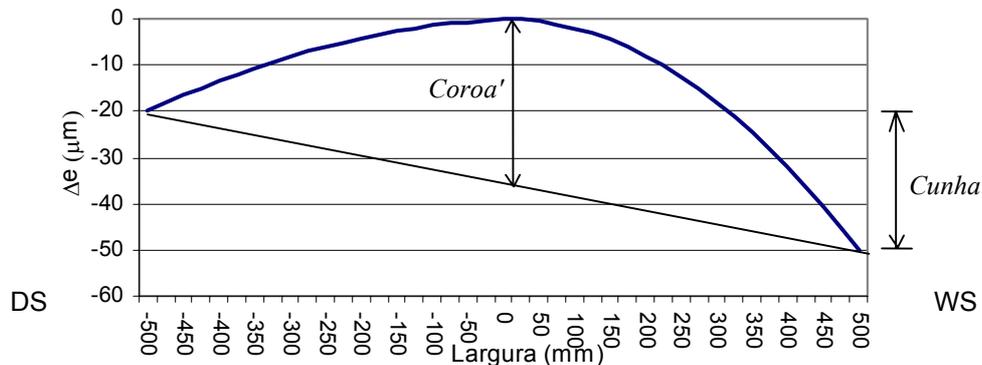
Figura 4. Diagrama de deslocamento do medidor móvel.

Utilizando apenas parte das medições apresentadas na Figura 4, pode-se realizar um detalhamento do método de medição do perfil e dos cálculos da coroa e cunha no ponto a 25 mm da borda da tira, Figura 5.



**Figura 5.** Detalhamento da região de medição de perfil.

Levando em conta somente as medidas realizadas pelo medidor móvel durante sua trajetória, pode-se construir o gráfico do perfil, Figura 6.



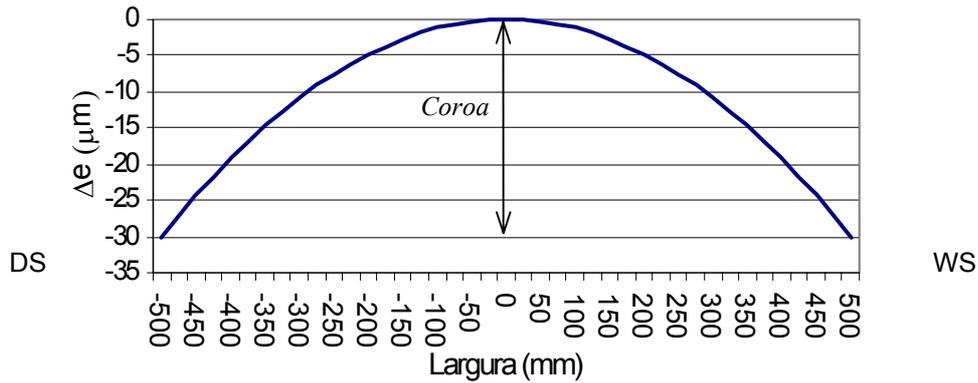
**Figura 6.** Gráfico de perfil considerando apenas o medidor móvel.

Os valores da coroa e cunha da figura 6 foram obtidos aplicando-se as Equações 2 e 3, sendo encontrados a 25 mm da borda os valores de 35 μm e 30 μm, como mostrado a seguir:

$$Coroa'_{25mm} = 0\mu m - \left( \frac{-20\mu m + (-50)\mu m}{2} \right) = 35\mu m$$

$$Cunha_{25mm} = -20\mu m - (-50)\mu m = 30\mu m$$

Considerando a interação entre o medidor fixo e móvel, isto é, fazendo-se a diferença entre a espessura obtida pelo medidor móvel e a correspondente do medidor fixo, tem-se o perfil da tira, Figura 7.



**Figura 7.** Perfil considerando a interação entre os medidores.

Calculando-se a coroa e cunha, considerando a interação entre os medidores e aplicando as Equações 2 e 3, obtemos os valores  $30\mu\text{m}$  e  $0\mu\text{m}$  respectivamente.

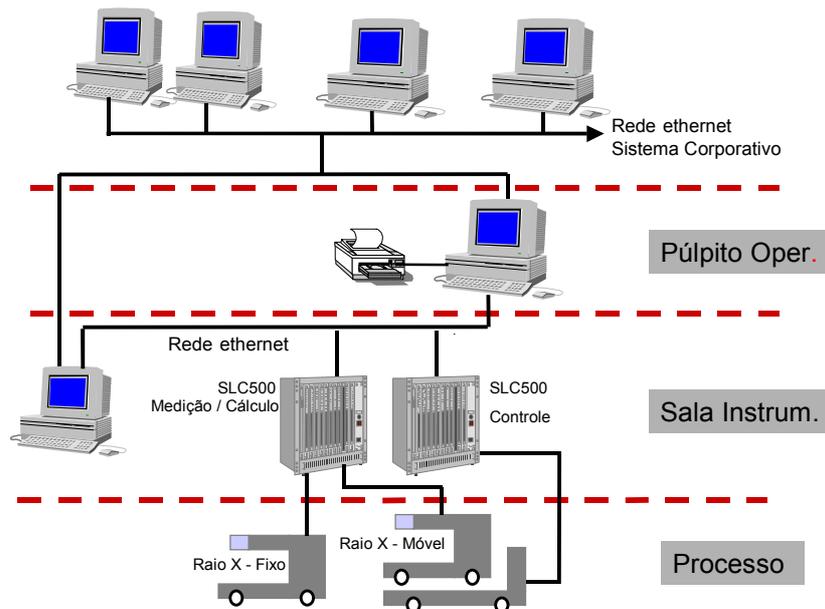
$$Coroa_{25mm} = 60\mu\text{m} - \left[ \frac{(40 - 10)\mu\text{m} + (70 - 40)\mu\text{m}}{2} \right] = 30\mu\text{m}$$

$$Cunha_{25mm} = (40 - 10)\mu\text{m} - (70 - 40)\mu\text{m} = 0\mu\text{m}$$

A análise comparativa dos gráficos das Figuras 6 e 7 e dos cálculos de coroa e cunha obtidos, verifica-se que o procedimento adotado pelo método da interação entre os dois medidores apresenta o perfil real, Figura 7. No exemplo dado, o sistema de controle de espessura (AGC) atuou variando a espessura ao longo dos 147 m necessários à medição de perfil.

#### 4 MODERNIZAÇÃO DO MEDIDOR DE PERFIL

O sistema consiste em dois CLPs e um microcomputador localizados na sala de instrumentação e uma estação para supervisão no púlpito de operação, conforme representado na Figura 8. Utilizou-se o software LabView 6i para desenvolvimento do sistema supervisor. O sistema de medição de perfil está interligado ao sistema de automação e ao sistema de monitoração da qualidade da linha de tiras a quente. Os dados podem ser visualizados nas estações da rede corporativa visando a análise da qualidade do produto e do processo, bem como sua manutenção remota.



**Figura 8.** Arquitetura do sistema de medição de perfil.

As principais inovações implementadas com a modernização do medidor são:

- medição de *high spot* que é uma saliência que pode ocorrer na tira. O medidor apresenta a posição na largura onde foi encontrado o *high spot*, bem como sua largura e altura máxima;
- medição em modo borda na qual o medidor móvel é colocado em uma posição fixa a qualquer distância pré-determinada da borda. Mostrará em uma tela gráfica a evolução da espessura longitudinal no centro, na borda e a diferença entre ambas;
- aplicativo instalado no escritório da unidade técnica da laminação para análise dos perfis transversais e dos valores de coroa e cunha das bobinas laminadas. Apresenta o resultado de 20 bobinas na mesma tela, em tamanho pequeno para agilizar a inspeção de um volume grande de bobinas;
- banco de dados com capacidade de até 5 anos com recurso de exportar os dados para um formato de planilha eletrônica;
- tela que mostra ao operador, em tempo real, a espessura longitudinal e transversal da tira que está sendo laminada;
- gráficos de tendência de largura, espessura, ritmo de produção, coroa e cunha;
- tela principal utilizada pelo operador que mostra: o perfil da tira que está sendo laminada e da anterior, resultados de até 5 valores de *high spot*, coroa e cunha a 25, 40, 75 e 100 mm da borda, e na parte inferior da tela o acompanhamento da trajetória do medidor móvel sobre o esboço da tira, figura 9;
- tela para análise mais detalhada de uma bobina, apresentando o perfil longitudinal e transversal, os valores de coroa e cunha a 25, 40, 75 e 100 mm das bordas e a medição de até 5 valores de *high spot*, Figura 10.

**USIMINAS**  
08/10/03 10:49:22

MENU PRINCIPAL

AJUSTE  
ON LINE  
MODO BORDA  
LOG MEDIÇÃO  
LOG EVENTOS  
HISTORICO  
AJUDA

507 metros/min

F1 F6 FRX SRX

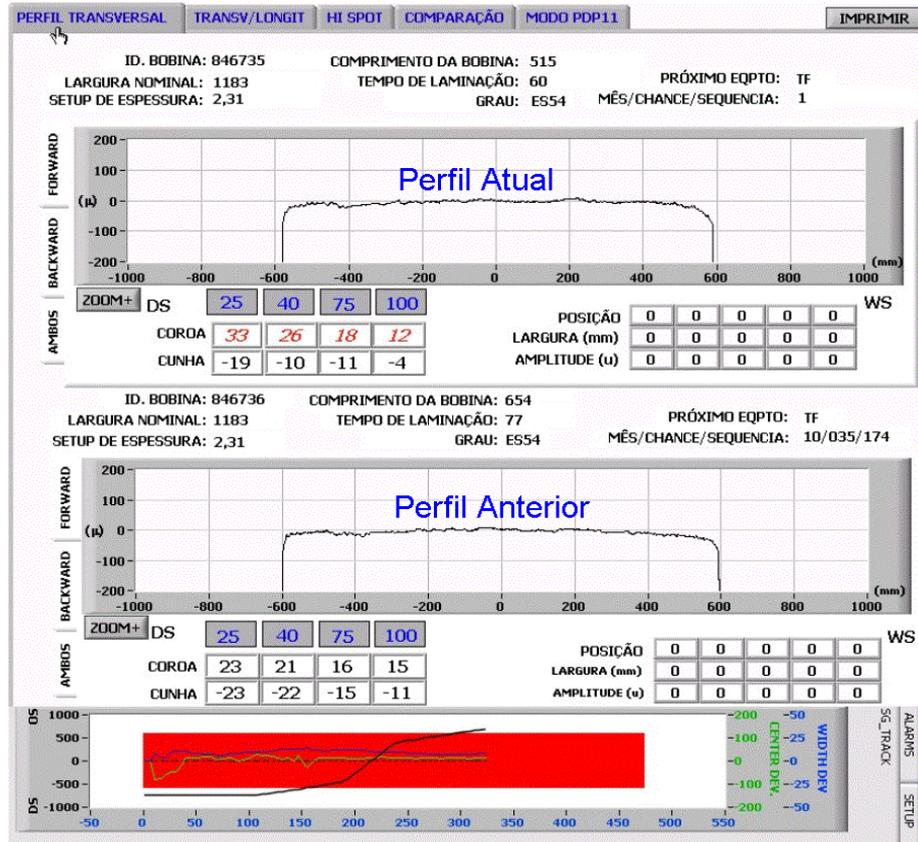


Figura 9. Tela principal utilizada pelo operador para acompanhar as medições.

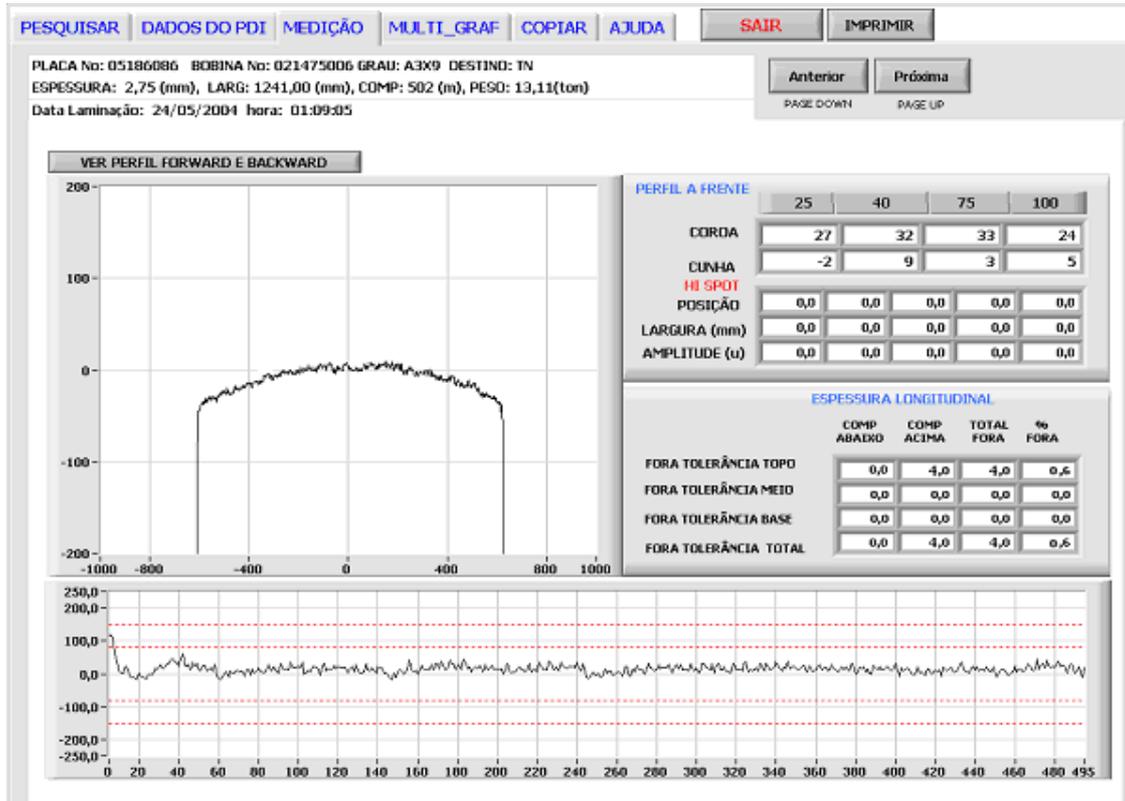


Figura 10. Tela para análise da medição de uma bobina.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A modernização do medidor garantiu a disponibilidade da medição de perfil e cálculo da coroa e cunha, necessários à manutenção da qualidade dimensional das bobinas. Além disso, proporcionou um aumento da confiabilidade ao oferecer para os analistas do processo uma gama de informações, em tempo real ou histórico, que podem ser facilmente consultadas através das estações de trabalho ligadas à rede corporativa.

Os principais benefícios alcançados foram:

- redução do índice de falha do medidor;
- aumento da disponibilidade operacional;
- redução de custos relativos à manutenção;
- redução de custo relativo ao consumo de papel;
- redução do tempo gasto na análise dos dados;
- conectividade e integração com rede corporativa;
- informações estatísticas relativas à espessura e perfil das bobinas;
- visualização e pesquisa dos perfis atuais ou históricos na própria estação de trabalho dos analistas;
- implementação de banco de dados com capacidade de armazenamento para até 5 anos de produção.

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1 TOSHIO, T.; KOHEI, K.; TOSHIKI, S.; TAKASHI, M.; YASUMICHI, I.; TOMIO, T. An On-line Measurement of Hot Strip Profile. Kawasaki Steel Technical Report, n. 5, p. 55-67, Maio 1982.
- 2 FAGUNDES Jr., J.; SILVA, P. C.; RIBEIRO, G. J.; RIBEIRO, J. C. Melhoria de Qualidade e Produtividade na Linha de Tiras a Quente da Usiminas com o uso de um sistema de Conservação de Calor do Esboço. In: SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO - PROCESSOS E PRODUTOS LAMINADOS E REVESTIDOS, 32., 1995, Curitiba. São Paulo: ABM, 1995. p. 125-135.
- 3 FAGUNDES Jr., J.; MAIA, G. A.; MARÇÃO, P. F.; ANDRADE F<sup>o</sup>, G. M. Otimização do controle automático do Laminador Acabador de Tiras a Quente da USIMINAS, Proceedings of LAMINACION'99, Instituto Latinoamericano del Fierro y el Acero, paper 12, 1999.

# PROFILE METER MODERNIZATION IN THE USIMINAS HOT STRIP MILL<sup>1</sup>

Gilson Domingos<sup>2</sup>  
Valter Caio Marçal<sup>3</sup>  
Carlos Alberto Resende de Andrade<sup>4</sup>

## Abstract

The profile measurement in the hot strip mills bases on the continuous acquisition of thickness in the traverse direction, that is, along the strip's width. In Usiminas, that measurement is used with the center-line reference gauge, for determination of crown and wedge values. These data are very important for flatness mathematical model of the rolling mill. This paper presents the implemented improvements in the profile measurements of Usiminas Hot Strip Mill and benefits reached such as: larger availability of the meter, reduction in the time of analysis through the agility brought with the visualization of the measurements in the stations of the net corporate, larger number of statistical information to the process, reduction of costs the maintenance and paper consumption. The modernization consisted of the substitution of a computer model PDP11/73 of the Digital for a system based on a programmable logical controller and microcomputer using the software LabView 6i.

**Key-words:** Profile measurement; Hot strip mill; LabView.

---

<sup>1</sup> *Technical Contribution to the 9<sup>st</sup> Processes Automation Seminar of ABM, October 05 to 07, 2005 – Curitiba – PR – Brazil.*

<sup>2</sup> *Electrical Engineer, ASQ/CQE, Project, Instrumentation and Automation Department of Usiminas; Ipatinga, MG, Brazil.*

<sup>3</sup> *Instrumentation Supervisor, Project, Instrumentation and Automation Department of Usiminas; Ipatinga, MG, Brazil.*

<sup>4</sup> *Member of ABM, Electrical Engineer, ASQ/CQE, FGV/MBA, Project, Instrumentation and Automation Department of Usiminas; Ipatinga, MG, Brazil.*