

# MELHORIA NO DESVIO PADRÃO DE ALONGAMENTO DO LAMINADOR DE ENCRUAMENTO 2 DA USIMINAS CUBATÃO<sup>1</sup>

*Julio Cesar da Costa Carmazen<sup>2</sup>  
Antonio Fabiano de Oliveira<sup>3</sup>  
Ivair Ferreira D'Oliveira<sup>4</sup>  
Karl Kristian Bagger<sup>5</sup>*

## Resumo

A qualidade superficial é essencial para o laminado a frio. Durante a operação de laminação de encruamento podem ocorrer variações no controle de alongamento. O controle do alongamento é realizado através da diferença de velocidades (VE e VS), obtida por dois geradores de pulsos solidários a dois rolos defletores com ou sem acionamento mecânico. Com o passar do tempo estes rolos defletores sofrem desgastes em sua superfície, reduzindo a vida útil e causando deslizamento do material e conseqüentemente a alteração no controle de alongamento. Foram analisadas as condições de desgaste do rolo, realizando um estudo para a alteração do revestimento com o aumento do atrito entre a chapa e a superfície do rolo defletor. O resultado obtido com a alteração do revestimento foi à redução do desvio padrão do alongamento no processo de laminação de encruamento redundando em ganhos significativos no rendimento final do produto laminado a frio.

**Palavras-chave:** Laminador de encruamento; Controle de alongamento; Revestimento dos rolos defletores; Desvio padrão.

## IMPROVEMENT IN THE STANDARD DEVIATION OF ELONGATION OF THE SKIN PASS MILL 2 - USIMINAS CUBATÃO

### Abstract

The surface quality is essential for cold-rolled. During the lamination of skin pass variations may occur in the control of elongation. Control of elongation is achieved by the difference in speeds (VE and VS), obtained by two pulse generators, attached to two rollers deflectors with or without mechanical drive. Over time these coils deflectors suffer damage on its surface, reducing the useful life and causing sliding of the material and consequently the change in control of elongation. We analyzed the conditions of wear of the roll, doing a study for the change of the coating with the increase of friction between the strip and the surface of the deflector roll. The result obtained with the change of the coating was the reduction of the standard deviation of the elongation in the skin pass mill, resulting in significant gains in income end of the cold rolled product.

**Keywords:** Skin pass mill; Control of elongation; Coating roller deflectors; Standard deviation.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 46º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 27 a 30 de outubro de 2009, Santos, SP.*

<sup>2</sup> *Sócio da A.B.M. Engenheiro Mecânico, Analista de Operação da Laminação a Frio da Usiminas, Cubatão SP; julio.carmazen@usiminas.com;*

<sup>3</sup> *Sócio da A.B.M. Engenheiro Metalurgista, Analista de Operação da Laminação a Frio da Usiminas, Cubatão SP; antonio.oliveira@usiminas.com;*

<sup>4</sup> *Sócio da A.B.M. Técnico Metalurgista, Assistente de Operação da Laminação a Frio da Usiminas, Cubatão SP; ivair.oliveira@usiminas.com;*

<sup>5</sup> *Sócio da A.B.M. Engenheiro Metalurgista, Gerente do Suporte Técnico da Laminação a Frio da Usiminas, Cubatão SP; karl.bagger@usiminas.com;*

## 1 INTRODUÇÃO

Nos aços laminados a frio, o patamar de escoamento provoca o aparecimento de defeitos superficiais durante a deformação. Na aplicação do material em operações de conformação, podem surgir linhas de distensão (bandas de Luder) ou quebra de superfície. A técnica mais utilizada para suprimir o patamar de escoamento, e assim impedir o aparecimento desses defeitos, é a laminação de encruamento, conhecida como Skin Pass, na qual o material é submetido a uma leve redução de espessura.<sup>(1)</sup>

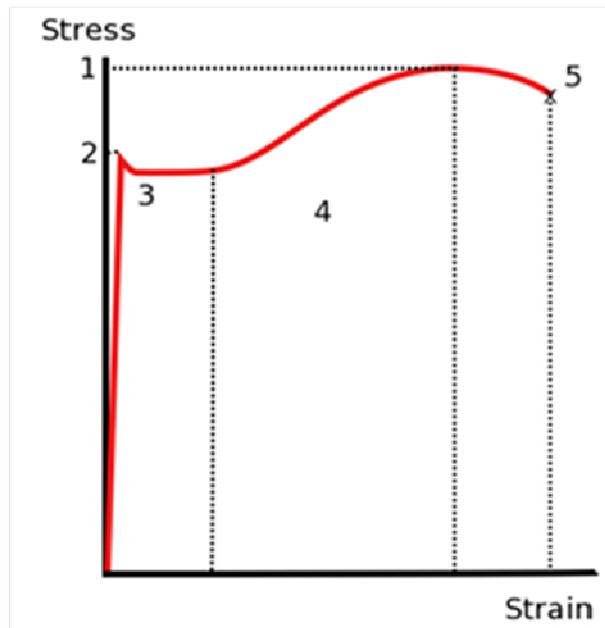
Obviamente, esta redução deve ser realizada de maneira a não provocar grandes variações nas propriedades mecânicas desejadas, e deve ser adequada a cada tipo de aço. A aplicação da redução na operação de encruamento implica na necessidade de um sistema de medição e indicação on-line do alongamento do material processado.

A peça que viabiliza esta medição na linha do laminador de encruamento são os rolos denominados defletores. O presente trabalho descreve o princípio de funcionamento e aspectos técnicos do medidor de alongamento, assim como os resultados do estudo de alteração dos valores de atrito dos rolos defletores.

O Laminador de Encruamento 2 possui a configuração de cinco cilindros, sendo 2 encostos, 1 intermediário e 2 trabalhos, permitindo produzir aços com excelente qualidade superficial para a indústria de eletrodomésticos, automobilística e aços para fins elétricos.<sup>(2)</sup>

## 2. CONCEITOS

O fenômeno conhecido como limite ou patamar de escoamento<sup>(3)</sup> refere-se ao aspecto observado na curva tensão-deformação, para uma parcela significativa de aços, conforme apresentada na Figura 1. Nesta curva, a tensão eleva-se até o ponto 2, definido como limite elástico ou limite superior de escoamento. A partir deste ponto, os aços escoam plasticamente. Em consequência deste fenômeno, ocorre uma queda na tensão até o ponto 3, chamado limite inferior de escoamento. Neste intervalo, a deformação plástica se dá sob uma tensão de deformação praticamente constante (3 – 4). A partir deste ponto, o material apresenta um encruamento progressivo e o aspecto da curva tensão-deformação segue um comportamento igual ao observado em materiais que não apresentam este patamar de escoamento até o limite de ruptura no ponto 5.



1. Tensão máxima de tração
2. Tensão de escoamento
3. Patamar de escoamento
4. Região de encruamento
5. Tensão de ruptura

Figura 1 - Curva tensão-deformação.

### 3 PRINCIPIO DE FUNCIONAMENTO

Considerando que a largura da tira permanece inalterada no passe de laminação de encruamento, fato verificado na prática em medições realizadas no material, tem-se que a diminuição da espessura da tira traduz-se por um aumento do seu comprimento, isto é, um alongamento. Com a tira tensionada, este alongamento é percentualmente igual ao aumento da sua velocidade de saída em relação à de entrada.<sup>(1)</sup>

$$e = \frac{L_S - L_E}{L_E} \times 100 = \frac{V_S - V_E}{V_E} \times 100 = \left( \frac{V_S}{V_E} - 1 \right) \times 100 \quad (1)$$

onde:

$e$  = alongamento da tira (em%);

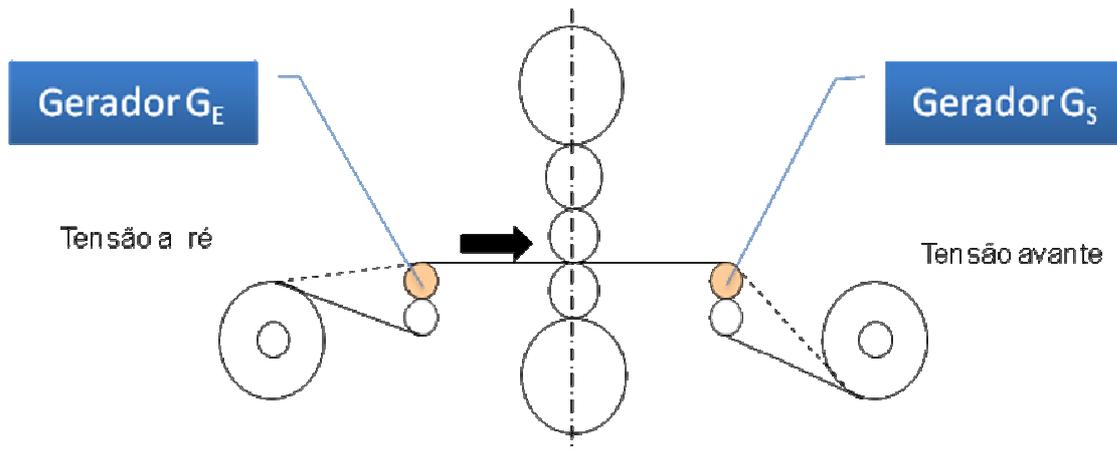
$L_E$  = comprimento da tira antes do encruamento (em m);

$L_S$  = comprimento da tira depois do encruamento (em m);

$V_E$  = velocidade de entrada (em m/s);

$V_S$  = velocidade de saída (em m/s);

Para medir a velocidade  $V_E$  e  $V_S$ , o sistema utiliza dois geradores de pulsos solidários a dois rolos defletores, conforme ilustrado na Figura 2, onde o deslizamento da tira deverá ser considerado.



**Figura 2** - Posição dos geradores de pulso.

O primeiro gerador de pulsos,  $G_E$ , está colocado na entrada do laminador, logo depois da bobinadeira, e o segundo,  $G_S$ , na saída, imediatamente antes da bobinadeira. De acordo com a equação 1, o alongamento é então calculado pela relação entre os dois sinais fornecidos pelos geradores.

## 4 TEORIA DE OPERAÇÃO

### 4.1 Cálculo Teórico do Alongamento

Cada gerador fornece uma quantidade de pulsos cuja frequência  $f$  é proporcional à velocidade de rotação do rolo ao qual está acoplado:<sup>(4)</sup>

$$f = \frac{N \times V}{\pi \times D} \quad (2)$$

onde :

$f$  = frequência de pulsos (em Hz);

$N$  = quantidade de pulsos por rotação;

$V$  = velocidade angular do rolo (em m/s)

$D$  = diâmetro do rolo (em m);

$$V = \frac{\pi \times D}{N} \times f \quad (3)$$

Como visto no item anterior, o alongamento é calculado através da relação entre velocidades. Substituindo  $V_E$  e  $V_S$  na equação 1, temos então:

$$e = \frac{\frac{\pi \times D_S}{N_S} \times \frac{f_S}{f_E} - 1}{\frac{\pi \times D_E}{N_E} \times \frac{f_S}{f_E} - 1} = \frac{D_S}{D_E} \times \frac{N_E}{N_S} \times \frac{f_S}{f_E} - 1 \quad (4)$$

No caso de alteração da velocidade angular do rolo em função do deslizamento da chapa sobre o rolo defletor, teremos alteração na frequência gerada pelos geradores de pulso, deste modo:

$$V = \frac{\pi \times D}{N} \times f \quad (3)$$

onde:

$f$  = frequência de pulsos (em Hz);

$N$  = quantidade de pulsos por rotação;

$V$  = velocidade angular do rolo (em m/s)

$D$  = diâmetro do rolo (em m);

Deste modo, podemos afirmar que se  $\left( e = \frac{D_S}{D_E} \times \frac{N_E}{N_S} \times \frac{f_S \downarrow}{f_E \downarrow} - 1 \right)$  (4) temos:

$$f_S \downarrow = e_S \downarrow, \text{ reduz o alongamento, aumenta a força !}$$

$$f_E \downarrow = e_E \uparrow, \text{ aumenta o alongamento, reduz a força !}$$

## 4.2 Condições de Operação

Uma vez alimentado o sistema, a leitura do alongamento é direta, em porcentagem na escala graduada do indicador, satisfeitas as seguintes condições:

- presença da tira de aço na linha, detectada pelo nível 1 e pelo sensor ótico de posição da borda (*edge position control*);
- acionamento dos rolos onde estão fixados os geradores de pulso, isto é, material sendo ao mesmo tempo sendo desbobinado na entrada e bobinado na saída; e
- velocidade da linha superior a 150 mpm;

## 5 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Entre todos os itens que podem afetar o resultado do alongamento (conforme Figuras 3 e 4), o controle da velocidade angular do rolo foi destacado para o estudo deste trabalho. Observando os cálculos teóricos, a variação da velocidade angular do rolo afeta diretamente o controle de alongamento, causando instabilidade operacional e variação do alongamento.

Entre todos os problemas que podem alterar a velocidade angular do rolo, o mais importante é o coeficiente de atrito entre a chapa e o rolo defletor, no qual se exigem um controle rigoroso e parâmetros muito bem definidos devido à degradação de sua superfície (desgaste do revestimento).

Foi observado que a vida útil do revestimento do rolo defletor tal como o tipo de revestimento utilizado, causava muita variabilidade no controle de alongamento, devida o seu desgaste prematuro e o seu baixo coeficiente de atrito.

## 5.1 Brainstorming

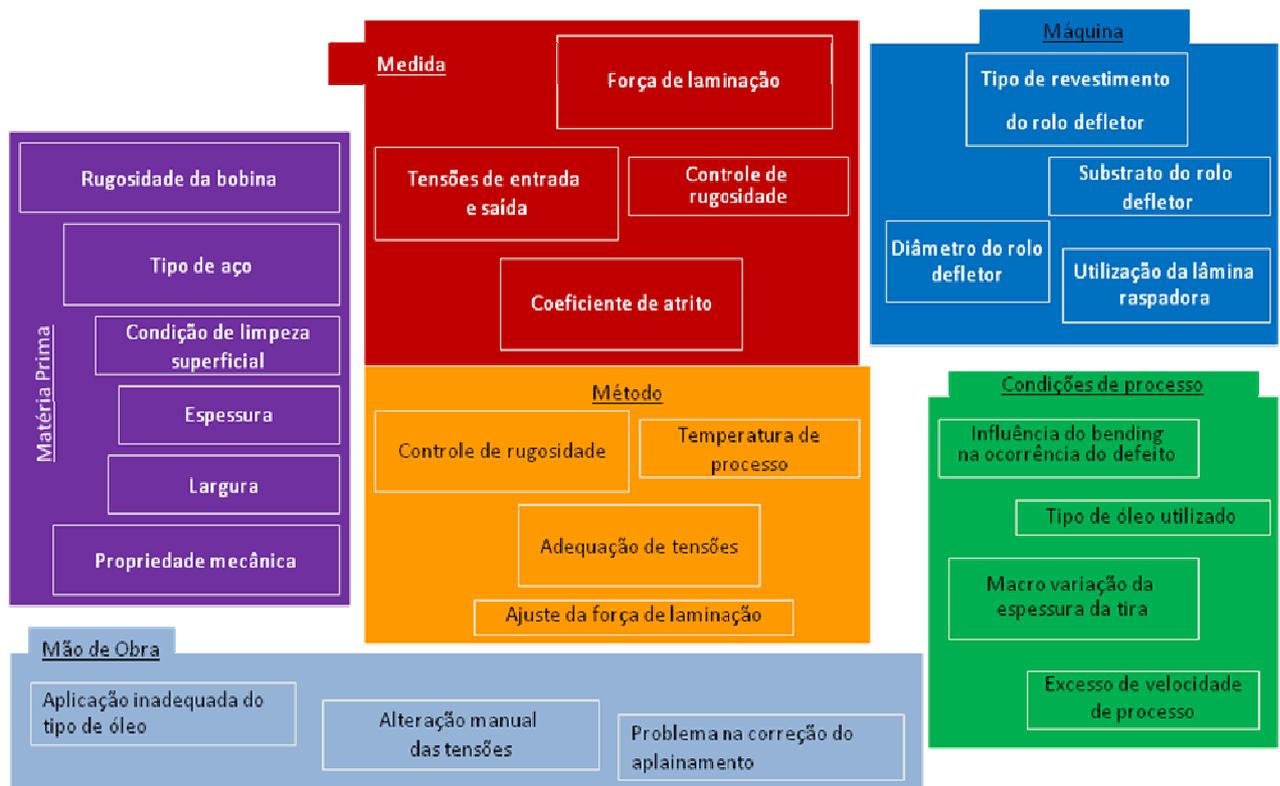


Figura 3 – Análise de *brainstorming* para as ocorrências de variação de alongamento.

## 5.2 Análise de Causa

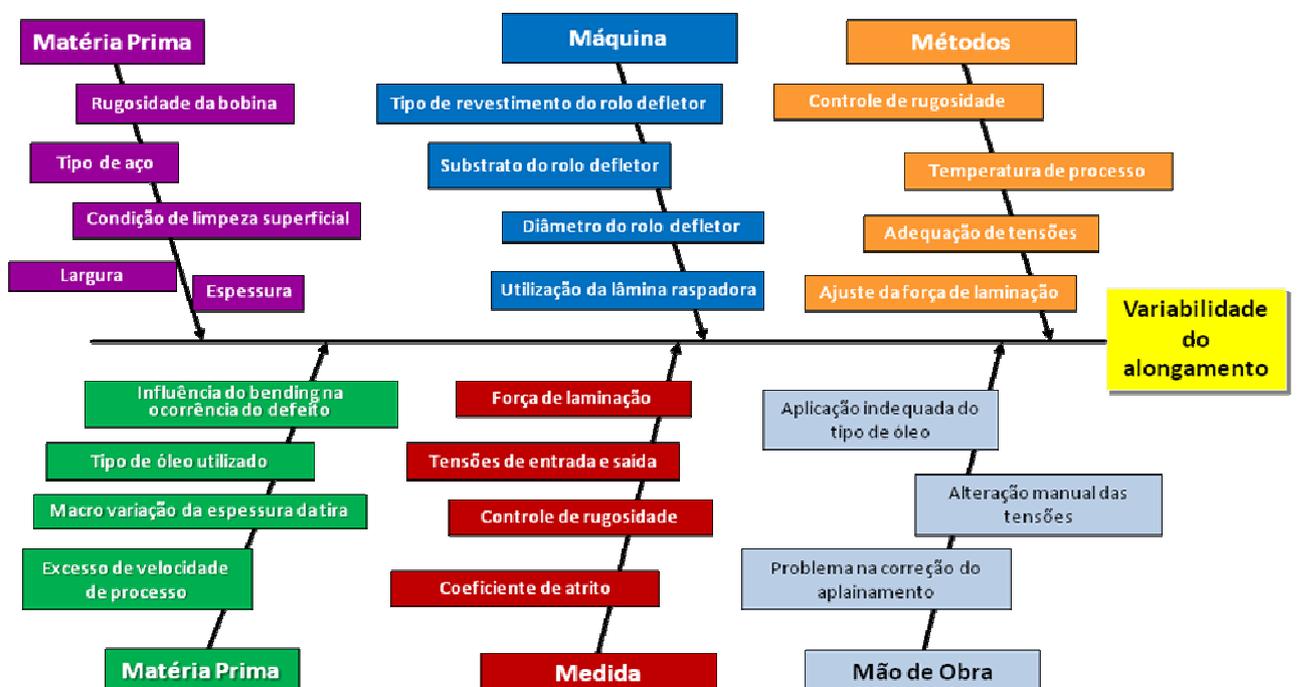


Figura 4 – Análise de causa-efeito para as ocorrências de variação de alongamento.

## 6 ESTUDO E DESENVOLVIMENTO

### 6.1 Objetivo

Após a análise do problema, o grupo se reuniu para desenvolver um material para o revestimento dos rolos defletores, de forma a aumentar o coeficiente de atrito garantindo um baixo desvio padrão do alongamento e aumento da vida útil do rolo.

### 6.2 Histórico

#### 6.2.1 Rolo defletor sem revestimento

Inicialmente os rolos defletores possuíam o núcleo em aço 1045 com rugosidade de (0,02 a 0,04 micrômetros Ra) - aspecto de “espelhado” sem tratamento superficial nem revestimento, o coeficiente de atrito entre a chapa e o rolo era extremamente baixo, gerando uma instabilidade na média de desvio padrão, conforme a Figura 5.

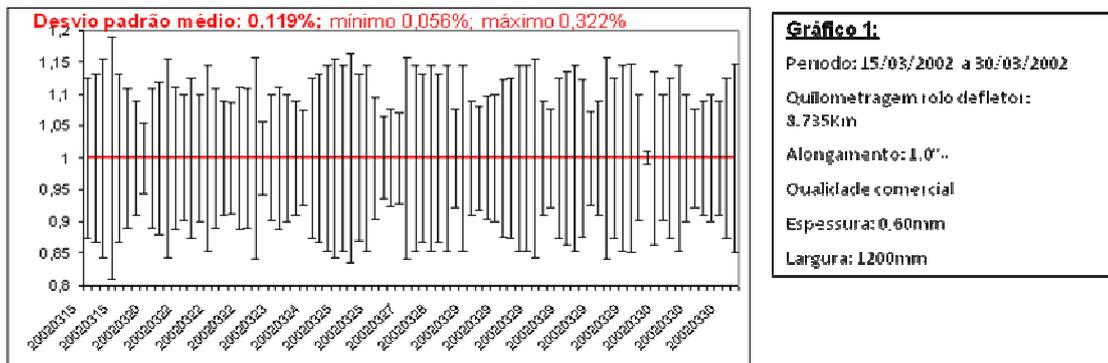


Figura 5 - Desvio padrão do alongamento sem o revestimento no rolo defletor.

#### 6.2.2 Revestimento em cromo duro (Cr)

O cromo duro Industrial é um revestimento com alta dureza e elevada resistência ao desgaste. O elemento químico Cromo [Cr] é depositado eletroliticamente sob a forma metálica a partir de eletrólitos aquosos, gerando camadas normalmente micro fissuradas e com dureza entre 400 HV a 1.000 HV [Vickers].

As camadas de cromo duro produzem resultados com excelentes propriedades de dureza, adesão e resistência. O processo de revestimento pode ser verificado na Figura 6.

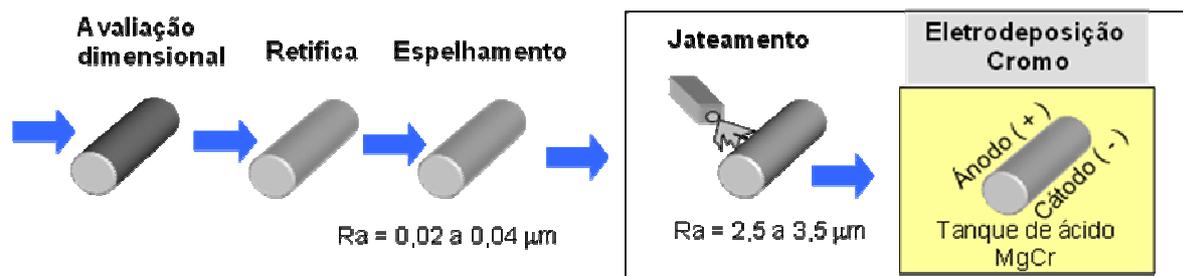


Figura 6 - Processo de revestimento do rolo defletor em cromo duro.

Com o revestimento em cromo duro, houve uma melhora significativa no desvio padrão, mas o revestimento não resistia a abrasão constante da chapa em sua superfície, ocorrendo um desgaste significativo em aproximadamente 30 dias.

Como se pode observar na Figura 7, no início da vida útil do rolo (20 dias), o desvio padrão mantinha pequena variação, mas devido ao desgaste do revestimento, no final da vida útil (10 últimos dias) o desvio padrão aumenta.

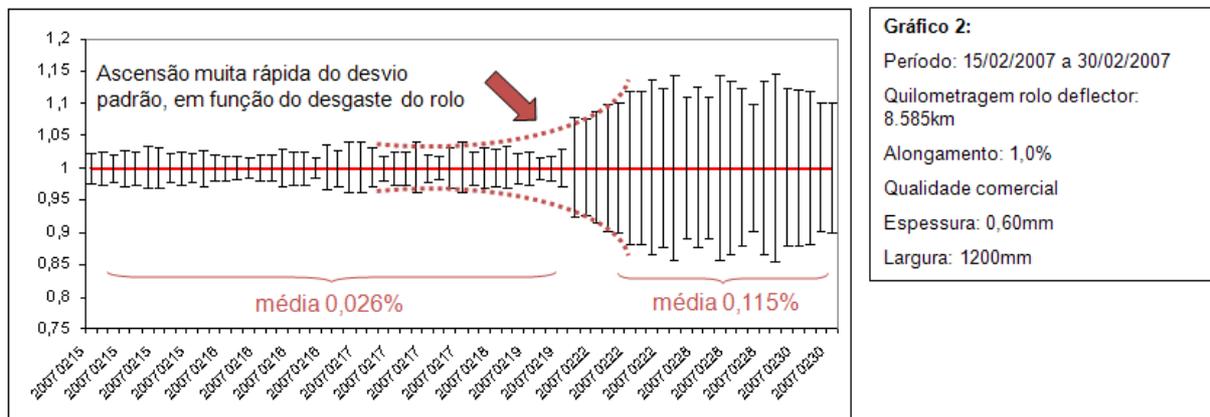


Figura 7 - Desvio padrão com revestimento em cromo.

### 6.2.3 Revestimento em carbeto de tungstênio (WC)

Iniciou-se o estudo do revestimento do rolo com carbeto de tungstênio com o objetivo de aumentar a resistência à abrasão, reduzindo o desvio padrão do alongamento. O revestimento de carbeto de tungstênio é aplicado através de aspersão térmica hipersônica, com alta pressão para aquecer e projetar o material de deposição (WC) contra o substrato (núcleo do rolo).

A aplicação ocorre na temperatura de aproximadamente 2.500°C e velocidade de 850 m/s, resultando em uma camada fina com excelentes propriedades de adesão, dureza de 1000 HV [Vickers] e resistência (conforme a Figura 8).

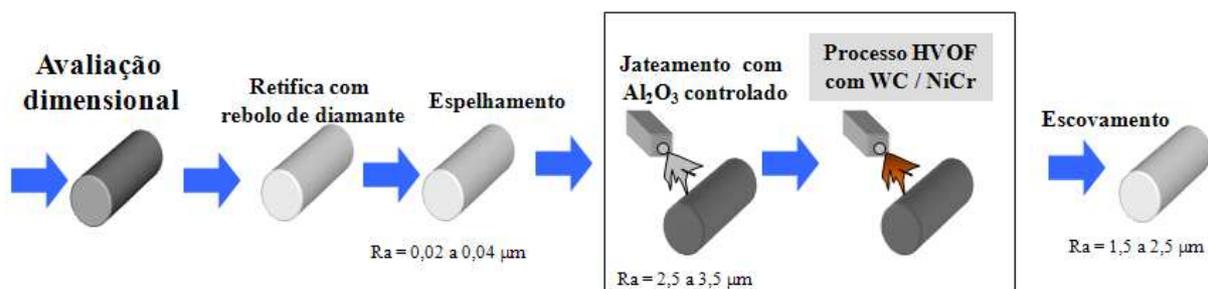


Figura 8 - Processo de revestimento do rolo deflector em carbeto.

Com o revestimento em carbeto de tungstênio, obtivemos um resultado de desvio padrão, similar ao revestimento de cromo duro, como demonstra a Figura 9.

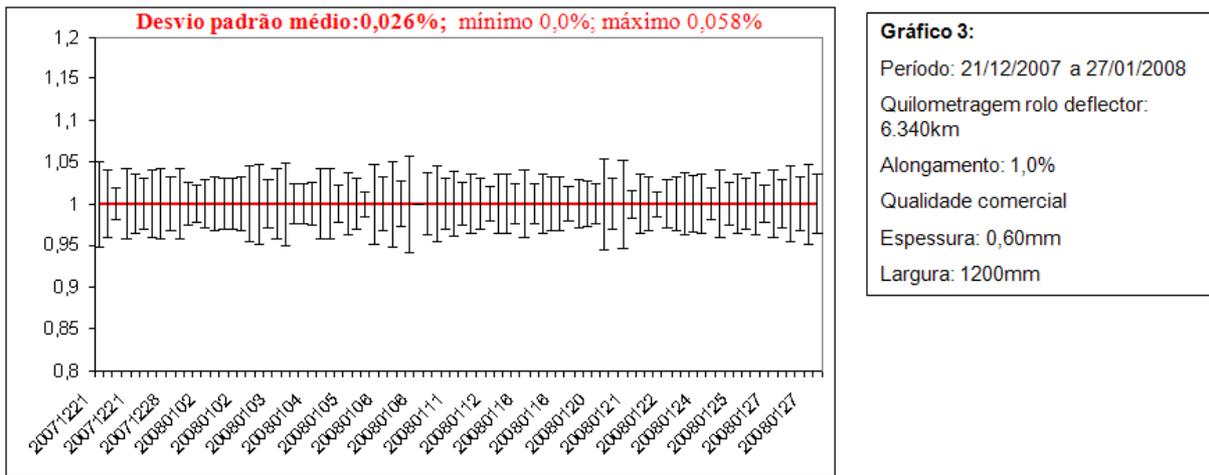


Figura 9 - Desvio padrão com revestimento do rolo defletor em carbeto.

## 7 RESULTADOS

### 7.1 Melhoria do Desvio Padrão do Alongamento

Com o desenvolvimento do revestimento no rolo defletor, obtivemos uma melhoria significativa no desvio padrão médio do controle de alongamento, passando de 0,119% para 0,026% conforme a Figura 10.

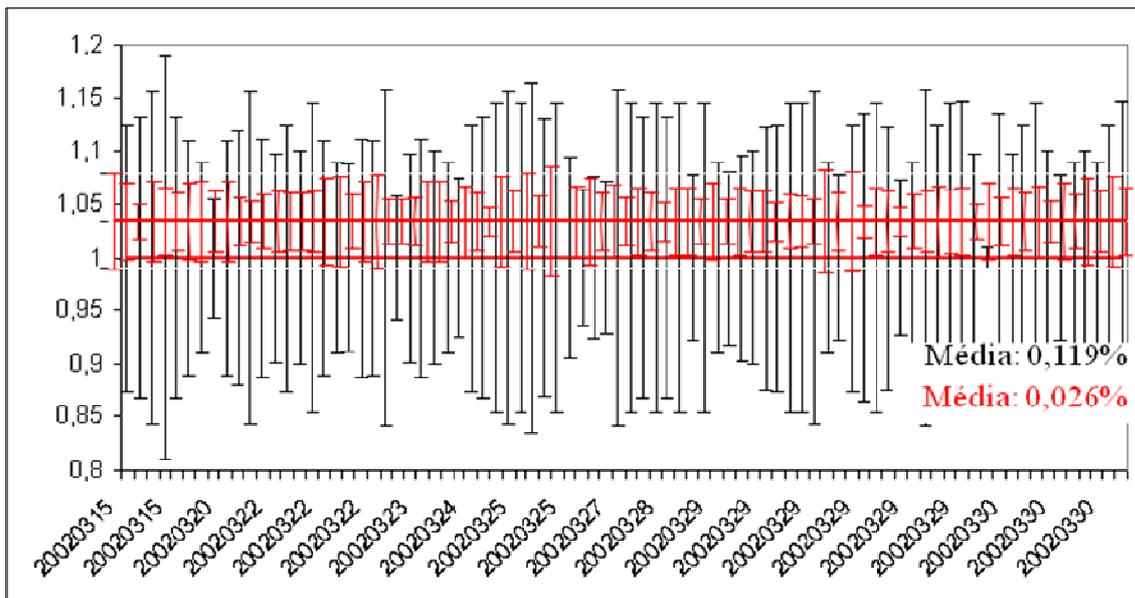


Figura 10 - Comparação de desvio padrão entre revestimentos.

### 7.2 Aumento da Vida Útil do Rolo Defletor

Houve um aumento de **325%** da vida útil da camada revestida, passando de 20.000 km para 85.000 km, conforme pode ser verificado na Figura 11.

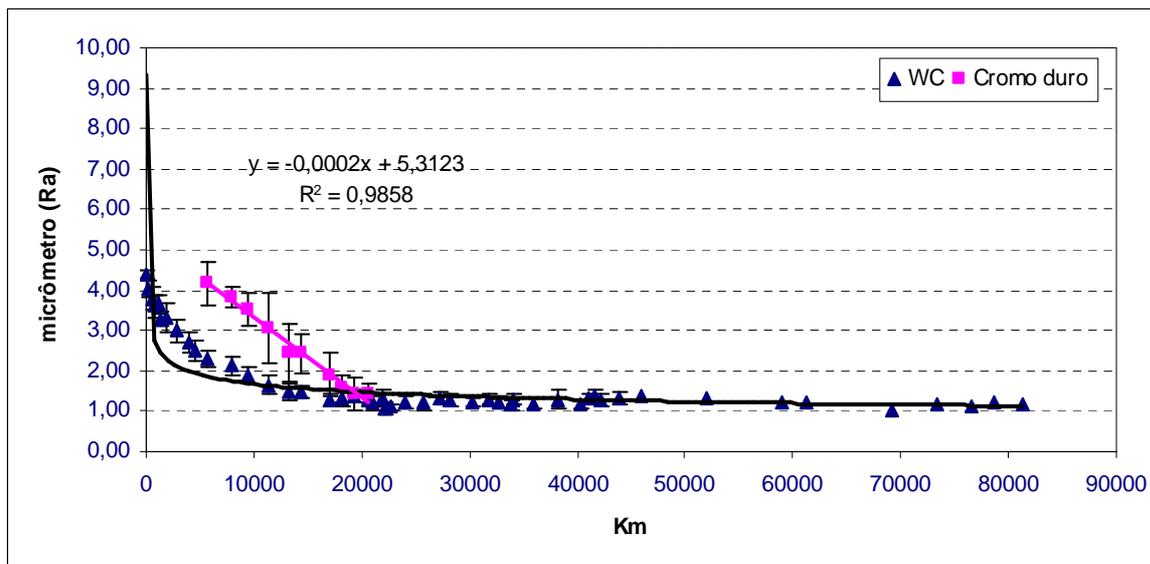


Figura 11 - Comparação de vida útil do revestimento do rolo.

## 8 CONCLUSÕES

A melhoria do revestimento permitiu um controle de alongamento mais preciso, reduzindo aproximadamente 78% do desvio padrão e um aumento significativo de 325% da vida útil do revestimento instalado.

Objetivando o capricho, técnica e consistência, foi obtido um excelente resultado para a agregação dos valores de sustentabilidade do aço Usiminas.

## REFERÊNCIAS

- 1 Braun, E. H., JÚNIOR, J. F., CHAGAS, C. F. Controle de alongamento dos laminadores da Usiminas. Belo Horizonte: XXXIV - Seminário de Laminação - Processos e Produtos Laminados e Revestidos da ABM.
- 2 HITACHI, LTD. – Contract specification of skin pass mill (5MB). 1996.
- 3 Ginzburg, V. B. Steel - Rolling Technology: theory and practice (Manufacturing engineering and materials processing / 30). New York: Marcel Dekker, Inc. 1989.
- 4 Roberts, W. L. Cold Rolling of Steel - Manufacturing Engineering and Materials processing / 2. New York: Marcel Dekker, Inc. 1978.