

MEDIÇÃO E AUTO-CORREÇÃO DE CAMBER EM UM LAMINADOR DESBASTADOR A QUENTE ¹

Wantuil Carlos Martinho ²
Luiz Octávio Mattos dos Reis ³

Resumo

Corrigir automaticamente o efeito camber, na saída do laminador desbastador de chapas grossa, reduz significativamente a ocorrência de sucatas no processo da laminação de acabamento, e também contribui na melhoria de qualidade da bobina de aço laminada, principalmente quando desejar espessuras baixas e largas na faixa máxima no processo de laminação a quente. O sinal do desvio da linha de centro do plano linear da chapa grossa na saída do laminador desbastador, em relação ao centro da mesa de rolos, é analisado sob a fórmula do cálculo de camber para medir a inclinação relativa em milímetros. Com o valor de camber calculado pelo sistema, referencia um gerador de funções com uma banda morta pré estabelecida para relacionar o desvio de camber com o valor de referência para o controlador de posição automático de nivelamento para os acionadores dos parafusos ajustadores do cilindro horizontal de laminação. Esta tecnologia de controle se adapta de acordo com as mudanças de largura, gradiente de temperatura e variação de espessura do processo anterior que são inerentes no processo de laminação do desbastador, onde independe de operação manual. O benefício da auto correção do camber em laminadores a quente esta ao alcance de qualquer siderúrgica metalúrgica.

Palavras-Chave: Camber; Medição; Auto correção.

MEASUREMENT AND AUTOMATIC CORRECTION OF CAMBER IN A HOT ROUGH MILL

Abstract

Correct the camber effect automatically, in the exit of the rough-hewing thick plate rolling mill, reducing significantly the occurrence of cobbles in the process of the finishing mill, besides contributing in the improvement of quality of the coil steel, mainly when desiring to low thicknesses in the hot mill process. The signal of the shunting line of the center line of the linear plan of the thick plate in the exit of the rough-hewing rolling mill, in relation to the center of the table of coils is analyzed under the formula of the calculation of camber to measure the relative inclination in millimeters. With the value of camber calculated by the system, it references a generator of functions with a part established deceased part, to relate the shunting line of camber with the value of reference for the controller of automatic position of levelling, for the activators of the screws adjusters of the horizontal cylinder of mill. This technology of control is adapted according to the changes of width, gradient of temperature and variation of thickness of the previous process that are inherent in the process of mill of the rough-hewing, where independes on manual operation. The benefit of the auto correction of camber in the hot rolling mills, is in the reach of any metalurgic siderurgy.

Key words: Camber; Measured; Auto-correction.

¹ *Contribuição técnica ao 12º Seminário de Automação de Processos, 1 a 3 de outubro de 2008, Vitória, ES*

² *Desenvolvedor em Automação Industrial da CSN /GGLQ /GMQ Volta Redonda -RJ*

³ *Doutor Orientador da UNITAU, Universidade de Taubaté - SP*

1 INTRODUÇÃO

O aumento dos níveis de qualidade e produção nas indústrias siderúrgicas fez com que a opção por sistemas automatizados passasse de alternativa a prioridade, já que uma indústria pode ser a melhor no negócio em que atua, mas caso não ofereça automação total em sua produção seus colaboradores, clientes e fornecedores, podem ficar à margem do mercado.

Muitas tecnologias são desenvolvidas e estudadas com o intuito de prover maiores níveis de automação industrial, e dentre elas destacam-se os controladores lógico programáveis que executam em tempo real as referências de velocidade, temperatura, bitolas e posicionamentos lineares ou rotativos. O Controle Automático de Camber (ACC- Automatic Camber Control), em uma linha de laminação a quente, contribui na produção com qualidade das bobinas de aço laminadas.⁽¹⁾

A presença da cunha e da curvatura afeta a qualidade de produto liso e causa também uma redução significativa no rendimento.⁽²⁾

Um modelo de algoritmo no nível 1 (um) para medição do camber, vem tornar mais ágil e eficaz este processo de reconhecimento do desvio e correção com estabilidade.

Vantagens como de melhorar e tornar mais segura a condição de entrada da tira no laminador acabador; laminação da tira mais fina sob circunstâncias estáveis; risco reduzido de sucatas; qualidade mais elevada da tira.

Os benefícios destacam com o aumento da qualidade de laminação; na redução de sucatas; em aumento de rendimento da planta em 0.1%; vantagem econômica de 0.2 Euro/ton em plantas com uma capacidade de 1.5 Mtpy.⁽¹⁾

Existe a perspectiva de ampliação do uso de tecnologias com esta estrutura, na proporção em que existe grande demanda de investimento para implantação deste modelo de sistema em nível 3 (três). Além do aumento na implementação, espera-se também maior foco no desenvolvimento de hardwares e softwares dedicados, que contribuam para este processo computacional inteligente, facilitando e agilizando todo tipo de tarefa de reconhecimento de camber por predição, e mais especificamente, como abordado neste artigo, as operações de auto-correção.

2 PROBLEMA

Em uma linha de laminação a quente, a deformação plástica e elástica conforme coeficientes da espessura de entrada e saída denominando redução e a diferença da largura da chapa na saída e na entrada, denomina-se alargamento. Dois tipos de laminadores são necessários para efetuar a transformação da placa de aço em bobina laminada a quente, os laminadores desbastadores e o trem acabador.⁽³⁾

A curvatura pode ser natural, diferenças após laminação ao resfriar, e a curvatura induzida subsequente a tensão aplicada para laminar.⁽⁴⁾

Uma variação do comprimento através da tira (criando uma curva direita ou esquerda), onde da borda ocorre quando somente as bordas (uma ou ambos) se tornam mais esticadas por muito tempo que o centro da tira.⁽⁵⁾

A cunha é definida nos termos da diferença entre as espessuras laterais do lado do operador e lado do acionamento, visto que o CAMBER é a curvatura da tira no plano longitudinal, conforme Figura 1.⁽¹⁾

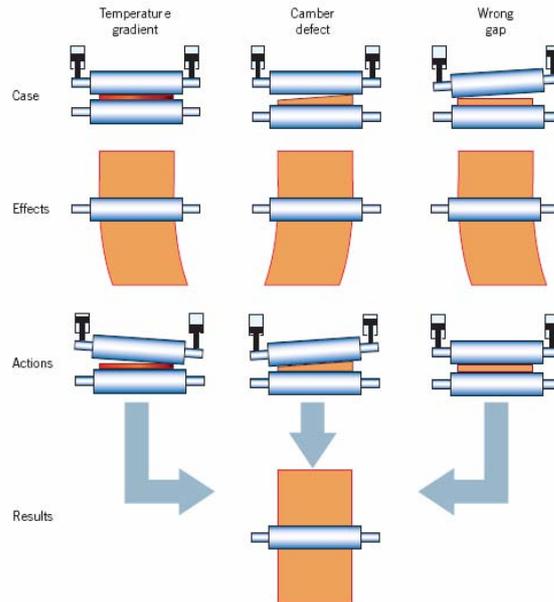


Figura 1. Camber.⁽¹⁾

3 PESQUISA DE CAUSAS

Camber de uma placa de aço laminado a quente é o desvio do plano longitudinal em relação a um ponto fixo do laminador (Figura 2).⁽²⁾

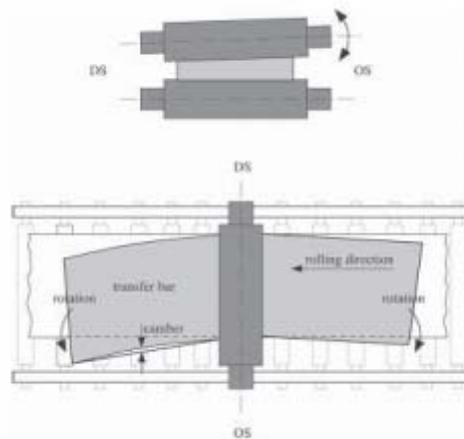


Figura 2. Desvio do plano longitudinal.⁽²⁾

Na Figura 2, Os rolos inclinados conduzem ao espécime que gira fora do sentido e à formação, curvatura. As extremidades exibiram uma forma característica. Visto que a extremidade principal remanesceu quase retangular, a forma na extremidade da cauda era não retangular. Devido à redução diferencial em ambos os lados da placa e da expansão linear diferencial resultante, o lado mais longo (= mais altamente redução da passagem) exibiu um ângulo agudo ($<90^\circ$).



Figura 3. Amostra da curvatura.⁽²⁾

Na Figura 3, Forma típica de curvatura gerada durante laminação com rolos inclinados.

3.1 Causas de curvatura

- **Gradiente da temperatura:** A temperatura nos dois lados da placa é diferente (poderia ser causado por um defeito no processo de reaquecimento ou simplesmente pelo fato que um lado da placa está mais próximo do que o outro à da porta do forno, assim está mais no contato com ar na temperatura ambiental).⁽¹⁾
- **Defeito da cunha:** Os lados da placa têm as espessuras diferentes (por ter o material mau processado como placa).⁽²⁾
- **Abertura errada ou ajuste:** O posicionamento errado ou mudanças de aberturas ou o poder de reagir em uma maneira desequilibrada quando sob a carga.⁽¹⁾
- **Ausência de guias laterais:** Os experimentos mostram a influência das guias sobre o comportamento de formação de camber. Sem guias ou sobre aberturas para a placa, acentua o camber para o lado de menor redução.⁽²⁾

4 TIPOS DE PERDAS DE PRODUÇÃO POR CAMBER

Efeitos indesejáveis na laminação, contribuindo a desvios de qualidade do processo, como ondulado lateral, estiramento no trem acabador, sucatas, perdas de cilindro e rendimentos metálicos como descartes.

4.1 Ondulado Lateral

Chapas com ondulado lateral na linha longitudinal em relação ao comprimento das laterais (Figura 3). Proveniente de camber na saída do laminador desbastador ou dentro do laminador de acabamento.



Figura 3. Chapa com ondulado lateral.⁽⁶⁾

4.2 Estiramento no Trem Acabador

Chapas que ao sair do laminador, corre para uma das laterais chicoteando na cadeira de laminação arrebetando (Figura 4), e com grandes possibilidades de marcar cilindros ou causarem uma próxima sucata, quando ficam na linha de laminação um estilhaço de chapa (Figura 5).



Figura 4 A . Estiramento no trem acabador.⁽⁶⁾



Figura 5. Estilhaço de chapa.⁽⁶⁾

4.3 Sucatas no Laminador de Acabamento

Quando a tira de aço entra no trem de laminação de acabamento, conforme a intensidade do camber, o laminador amplia o grau da deformação, direcionando a chapa para lateral da guia de entrada da cadeira seguinte.

Fragmentos de estiramento no caminho da chapa, causa sucata na entrada da chapa seguinte (Figura 6).



Figura 6. Sucata no trem acabador.⁽⁶⁾

4.4 Perdas de Cilindros de Laminação

Com ocorrência de estiramento ou sucata da chapa no processo de laminação de acabamento, conseqüentemente, causa marcas na superfície dos cilindros de laminação reduzindo sua vida útil por uma necessidade de nova retifica de alguns ou todos cilindros de laminação.

Sendo o custo dos cilindros dos laminadores finais de acabamento, por marcas de sucatas aproximadamente US\$ 750 cada mm x14 cil. = US\$ 10,500.

4.5 Rendimento Metálico, Descartes

Em virtude de avarias na chapa em sua entrada no laminador acabador ou em sua saída, obriga a descartes de tira de aço para a bobina ter qualidade de embalagem e entrega (Figura 7). Em média este descarte está na ordem de 1000ton/mês.



Figura 7. Descarte no final da bobina.⁽⁶⁾

5 OPERAÇÃO MANUAL

Correção de camber em manual, consiste em visualizar imagem da placa laminada, confirma na tela do HMI do medidor de largura a centralização da placa, atua na abertura dos parafusos ajustadores de cilindros horizontais, confirma posicionamento nos indicadores de abertura, repetindo este ciclo em todas placas laminadas, sendo:

- **Visualizar Imagem**

Operador visualiza a imagem da saída da placa do processo de laminação do desbastador pelo monitor de TV; com sentido também preocupado com as placas anteriores ao processo de saída do laminador esta ação necessita rapidez.

- **Confirmar no medidor de largura**

Em seguida, o mesmo operador visualiza a imagem da linha de centro da placa em relação da mesa rolos no monitor do sistema de medição de largura.

- **Atuar no nivelamento**

Após avaliação dos atos anteriores, faz a correção necessária na mesa de operação, aumentando ou diminuindo o valor de abertura dos cilindros horizontais, referente ao lado da curvatura da placa no plano longitudinal.

- **Confirmar correção no IHM**

Confirma a correção de camber no IHM de monitoração do processo. Isto para garantir a certeza da operação realizada em relação ao efeito ocorrido com o laminador desbastador. Evitando-se uma operação indesejada.

- **Observar a próxima laminação**

Toda operação é repetida em cada placa laminada, apenas diferenciando a necessidade de correção da abertura dos cilindros de laminação. Sendo uma média diária de 750 placas, proporcionando erros operacionais.



Figura 8. Cabine de operação.⁽⁶⁾

6 AUTOMATIZANDO CORREÇÃO DE CAMBER

Os modelos de algoritmos para controles automáticos de velocidade e posição contribuem para implantação do controle de camber automático (ACC - Automatic Camber Control) no nível 1 e 2 da escala de arquitetura da automação.⁽⁷⁾

Tomando ciência da correção de camber em manual, passamos a registrar os acionamentos manuais, modelar o sinal do desvio da linha de centro em camber e sinalizar no HMI, definir alarmes de operação, medindo taxa de correção do conjugado do parafuso a justador de abertura com sua embreagem e elaborando algoritmo de correção de camber em automático.

A seguir, serão definidos seus conceitos baseados na estrutura de operação e algoritmos de medição e controle

6.1 Registro das Operações Manuais

Amostragens de atuação manual do operador em busca do mínimo de CAMBER, com objetivo ficar menor que 50mm de um total de 38 atuações. Conforme a figura abaixo a linha azul representa o camber antes da operação manual, a linha rosa representa o valor após a correção pelo operador.

O gráfico permite observar:

- Que as correções manuais contribuem para uma inversão da polaridade do camber, na maior parte de todas correções.
- Muitos valores relativamente altos de camber não eram observado pelo operador.
- Instabilidade no processo por inversões de polaridade do camber.

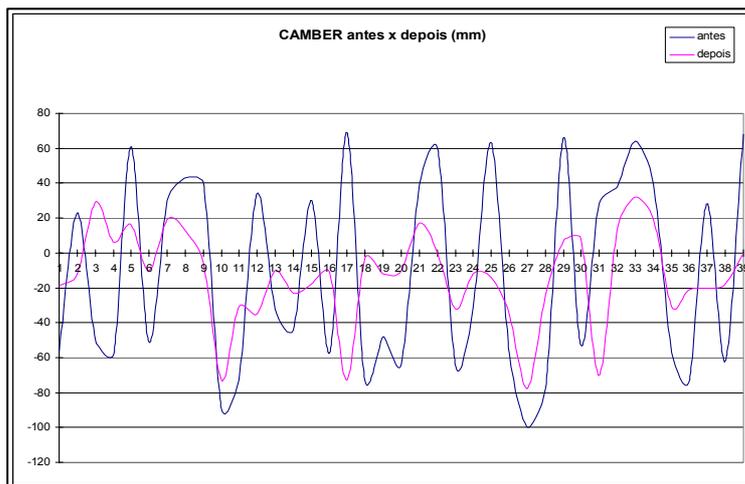


Figura 7. Gráfico do Camber em manual.⁽⁶⁾

6.2 Modelagem do Sinal, de Desvio do Centro de Largura

O sinal do sensor CCD existente na saída do laminador desbastador, faz medição da largura do produto laminado e seu desvio em relação ao centro da linha da mesa de laminação. Para alguns tipos de placas, a saída do laminador pode estar deslocada para o lado operador (A) ou para o lado de acionamento (B).

$$D_c = L_p + (ccd_A - ccd_B)$$

D_c = Desvio do centro (mm);

L_p = Largura da placa (mm);

ccd_A = Câmera "A" ;

ccd_B = Câmera "B" .

6.3 Definição de Alarmes

O estudo para definição do alarme começou pela medição do normal de laminação, os valores de camber processado foram registrado em planilha chegando a média de 120 mm. Na medida que estes valores eram conhecido onde se tornava normal pelo desbaste e acabamento, começamos a diminuir gradativamente de 120, 100, 80 mm.

6.4 Calibração dos Laminadores & Centralização dos V Es

No decorrer da implantação do trabalho, deparamos com a necessidade de garantir uma melhor calibração dos laminadores horizontais de saída do desbastador. Os laminadores eram calibrados com 500 toneladas, mas após os retornos de manutenções preventivas às primeiras placas apresentavam valores altos de camber, chegando a serem sucateadas.

Com base na carga total de cada célula que é de 1800 toneladas, passamos a calibrar os laminadores com 1000 toneladas total com variação permitida de +/- 50 toneladas, ou seja , 900 toneladas para cada lado.

Em conjunto ao valor de carga total de calibração, adicionamos um diferencial máximo permitido na ordem de +/- 30 toneladas.

6.5 Elaboração do Algoritmo do Camber

O algoritmo de cálculo do camber foi todo elaborado no controlador lógico programável melplac P2000 mitsubishi, que controla o laminador desbastador com varredura principal em 50 mili-segundos. O algoritmo principal está fundamentado nas funções lógica abaixo:

A função abaixo define os pontos de leitura do desvio de centro conforme o comprimento da placa:

$$a) P_0^4 \Leftarrow Dc, \text{ when } L_c \geq K_0^4$$

P_0 = Ponto filtro;

Dc = Desvio do centro (mm);

L_c = Comprimento da placa em (mm);

K_0 = Constante do ponto filtro;

K_{1-4} = Constante do ponto linear.

A função abaixo memoriza o ponto zero fora da faixa de ruído do sinal de largura:

$$b) M_1 \Leftarrow Dc, \text{ when } L_c \geq K_0$$

M_1 = Memória Ponto zero

Dc = Desvio do centro (mm);

L_c = Comprimento da placa em (mm);

K_0 = Constante do ponto filtro;

A função abaixo determina o valor do camber conforme os pontos de leitura do desvio de centro em relação ao comprimento da placa:

$$c) V_c = M_1 - \left(\sum_1^4 P \div K_4 \right)$$

V_c = Valor camber (mm)

M_1 = Memória Ponto zero

ΣP = Somatório dos Pontos 1 a 4

K_4 = Constante de quantidade de pontos

$$d) P_0 = L_c \geq K_0$$

P_0 = Ponto filtro

L_c = Comprimento da placa em (mm)

K_0 = Constante do ponto filtro

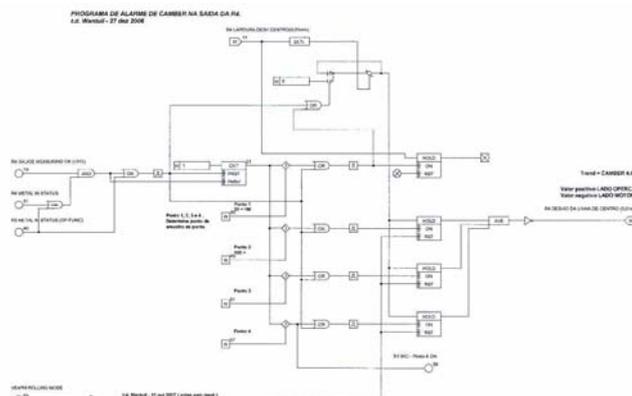


Figura 8. Algoritmo de medição melsucses.⁽⁶⁾

6.6 Elaboração do Algoritmo de Correção do Camber

Na solidez do resultado do algoritmo de cálculo do camber, foi elaborado no controlador lógico programável outro algoritmo com finalidade de fazer a correção necessária para obtenção da linearidade da placa.

O princípio de ajuste de correção se aplica ao nivelamento do cilindro horizontal de laminação. O mesmo é acionado por meio de dois motores de corrente contínua de 150 Kw, um motor para cada lado. Os motores de ajuste de abertura dos cilindros estão sob o controle de uma malha fechada de velocidade, com posicionamento automático de posição (APC).⁽⁶⁾

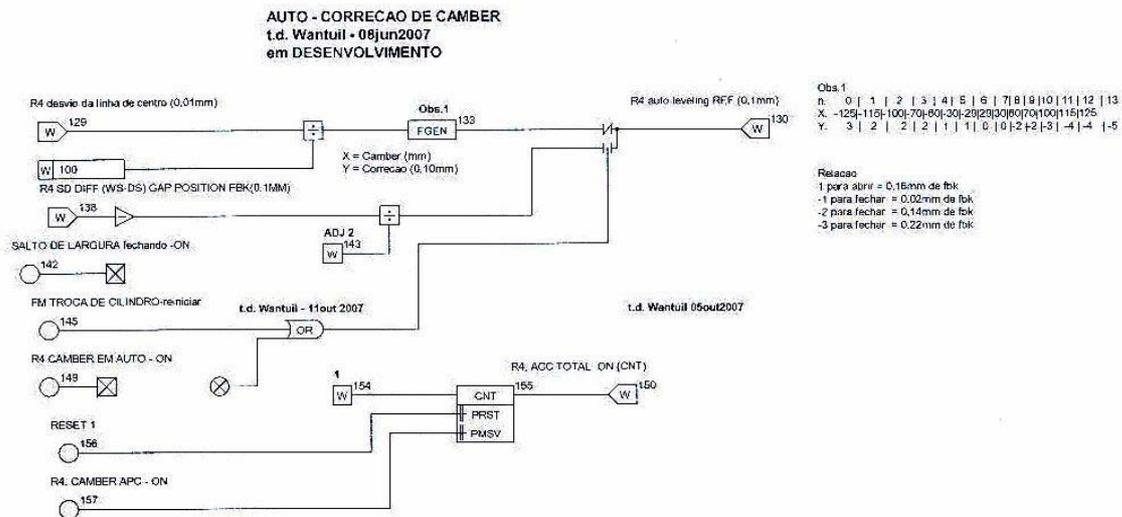


Figura 8. Algoritmo de correção do camber.⁽⁶⁾

7 VANTAGENS E BENEFÍCIOS

Objectivo do controle de Camber é manter centralizado a saída da placa tão próximo quanto possível do valor ideal. Esta dinâmica de controle é necessária para compensar os erros na entrada do laminador e nas condições para mudanças de abertura dos cilindros. Na verdade, fatores que são controláveis e outros incontroláveis, que têm de ser consideradas como distúrbios e geram camber. Desta forma agrega valores como:

7.1 Vantagens

- Melhor e mais segura condição de entrada da tira no laminador acabador.
- Laminação da tira mais fina sob circunstâncias estáveis.
- Risco reduzido de sucatas.
- Qualidade mais elevada da tira.

7.2 Benefícios

- Aumentam na qualidade principal.
- Na redução de sucatas.
- Aumenta o rendimento em 0.1% da planta.
- Econômica vantagem 0.2 Euro/ton.

As estimativas dos benefícios são proporcionais às plantas com uma capacidade de 1.5 Mtpy.

8 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Objetivo do controle de Camber é manter centralizado a saída da placa tão próximo quanto possível do valor ideal. Esta dinâmica de controle é necessária para compensar os erros na entrada do laminador e nas condições para mudanças de abertura dos cilindros. Nas Figuras 9 A e 9B, contém o registro gráfico em dimensões diferentes de laminação, sendo:

- Linha azul, valor do camber apresentado;
- Linha rosa, valor do camber quando corrido em manual;
- Linha verde, valor (objetivo) do camber quando corrido em automático.

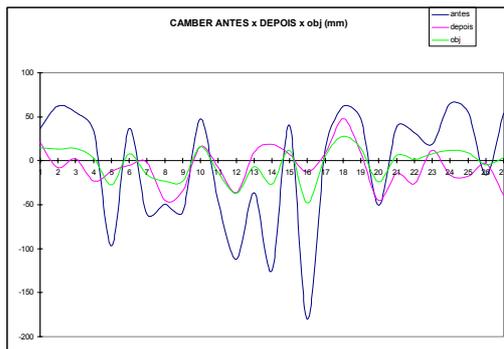


Figura 9 A. Gráfico de comparação n°1.⁽⁶⁾

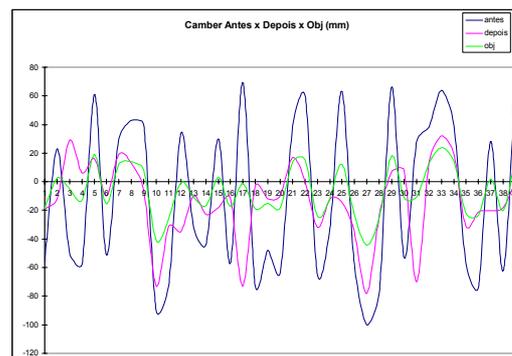


Figura 9 B. Gráfico de comparação n°2.⁽⁶⁾

9 DISCUSSÃO

Durante o processo de pesquisa e elaboração do artigo, foi observado que há pesquisas em andamento na Europa visando a predição do camber, mas demandam implantação de sensores especiais na entrada e saída do laminador e de alto custo. O controle de medição e auto-correção de camber deste trabalho é um sistema que permite um funcionamento com grande agilidade e dinamismo com linhas que contém um sistema de medição de largura na saída do desbastador, onde no campo da siderurgia é um fator prioritário em automação industrial.

10 CONCLUSÃO

A siderurgia necessita novas implementações e sistemas, pois a cada dia, observa-se o surgimento de tecnologias, também existe o aperfeiçoamento das diferentes formas de clientes. Sendo assim, o produto de medição e auto-correção de camber é apenas um entre vários produtos que farão com que o nível de qualidade e produtividade de uma empresa esteja sempre nos níveis mais altos, com baixo custo. É de igual importância esclarecer que este artigo, por se tratar de um contexto abrangente sobre tecnologias como controladores lógicos, acionamentos de motores e sensores de largura, deve impulsionar extensões em novas pesquisas, tratando especificamente de um contexto em especial, ou abordando estas inovações que provoquem a melhoria e utilização do sistema por um grupo maior de siderúrgicas.

Agradecimentos

A todos os colaboradores da laminação a quente da CSN, registro aqui meu agradecimento, muitos contribuíram na execução da pesquisa e no auxílio técnico. Este trabalho representa apenas um capítulo da história infinita da siderurgia.

REFERÊNCIAS

- 1 DANIELI, Wean United Automation; WHCC Closed-Loop Wedge Hook and Camber Control; 2006 .
- 2 European Commission EUR 21931 ; ISBN 92-79-00393-3 ; 2005 (pag.12, 49 a 58).
- 3 HELMAN, Horácio at all; Fundamentos da Laminação ABM SP – 1988 ; pag. 263,264, 289.
- 4 RICKER, David T. Cambering Steel Beams – Engineering Journal, fourth quarter, 1989. AISC 2004; www.aisc.org/epubs .
- 5 GRAHAM, W. Bud; Camber induced length change.xls, - 2004, www.weldetubepros.com .
- 6 CSN, 2006 e 2007; relatório de qualidade.
- 7 MORAES, Cícero Couto; CASTRUCCI, Plínio de Lauro; Engenharia de automação industrial LTC 2º edição RJ – 2007.