

SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DO LAMINADOR ACABADOR DA VILLARES METALS ¹

Glayson Daré²

Jackson Carvalho²

Cássio dos Santos²

Luiz Carlos Garcia da Silva Júnior³

Resumo

A laminação é um processo caracterizado pela produção seriada. Tal característica requer a implementação de técnicas de controle adequadas, que visam otimizar a qualidade dos produtos finais e produtividade do laminador acabador de barras e bobinas. A plataforma concebida baseia-se na filosofia de supervisão cliente/servidor sob Siemens WinCC, controladores Siemens S7-417 associada a SIMOVERT MASTERDRIVES e um sistema de aquisição e análise de dados (IbaPDA e IbaAnalyser). O sistema proporciona excelente interação com o operador devido à utilização de software e hardware de última geração, associada à otimização e consistente formatação das telas operacionais. O objetivo é apresentar o sistema de automação implantado na Villares Metals, as estratégias de controle e os resultados obtidos, tais como controle de tensão mínima, implementado no laminador contínuo e no laminador de chatos, a formação de laços controlados por um PI discreto para controle de tensão, e o controle de corte das tesouras.

Palavras-chave: Automação; Laminador acabador; Controle de tensão; Masterdrive.

VILLARES METALS MULTI-LINE FINISHING ROLLING MILL AUTOMATION SYSTEM

Abstract

The rolling mill process is characterized by a serial production. This characteristic needs an appropriated control techniques implementation, which intends to optimize the ended quality products and the bar and wire rod finishing rolling mill productivity. The platform is based on a client/server supervision system under Siemens WinCC, Siemens S7-417 controllers associated to SIMOVERT MASTERDRIVES and a process data acquisition system (ibaPDA and ibaAnalyser). The system provides an excellent interaction to the operator due to utilization of the last generation software and hardware, associated to the optimization and consistent design of the operational screens. The goal is to present the control and automation system implemented at Villares Metals, the control strategies and the gotten results, such as the minimum tension control, implemented at the continuous rolling mill and at the flat block, the building of loops that are controlled by a discrete PI for tension control, and shears cut control.

Key words: Automation; Multi-line finishing rolling mill; Tension control; Masterdrives.

¹ *Contribuição técnica ao XI Seminário de Automação de Processos, 3 a 5 de outubro, Porto Alegre-RS*

² *Engenheiro de Projetos de Automação da Siemens VAI.
Engenheiro da Villares Metals*

1 INTRODUÇÃO

1.1 Descrição do Projeto

O projeto consiste na automação e controle de um laminador acabador com utilização da tecnologia de cassetes (CCR) no conceito “Multi Line”, situado na Villares Metals, bem como suas áreas periféricas. Todo o projeto de automação foi projetado e implantado pela VIA (VAI Ingdesi Automation).

A Villares Metals, uma empresa do grupo Bohler-Uddeholm, é a maior produtora de aços especiais e de alta liga da América Latina. A planta situa-se na cidade de Sumaré, interior do estado de São Paulo. Nessa planta, são laminados uma completa gama de aços de alta liga, como aço ferramenta, aço válvula, aço inoxidável, aço rápido e ligas especiais.³

O escopo do projeto abrange toda a área do laminador, incluindo a saída do forno de reaquecimento, um descarepador, uma área de transferência que recebe o material após os primeiros passes de laminação na cadeira desbastadora tipo trio, um forno de equalização de temperatura e, na seqüência, o laminador contínuo.

O laminador contínuo pode produzir tanto barras como bobinas (veja na Figura 1 um layout esquemático), no qual a seqüência pode ser descrita abaixo:

- 1) Barras para o leito de resfriamento, no qual é agrupado, cortado em tamanhos comerciais, amarrado e transferido até o final da linha;
- 2) Bobinas (fio máquina), que consiste de dois blocos acabadores de laminação, um formador de espiras e uma área de resfriamento, amarração, pesagem e despacho das bobinas formadas.

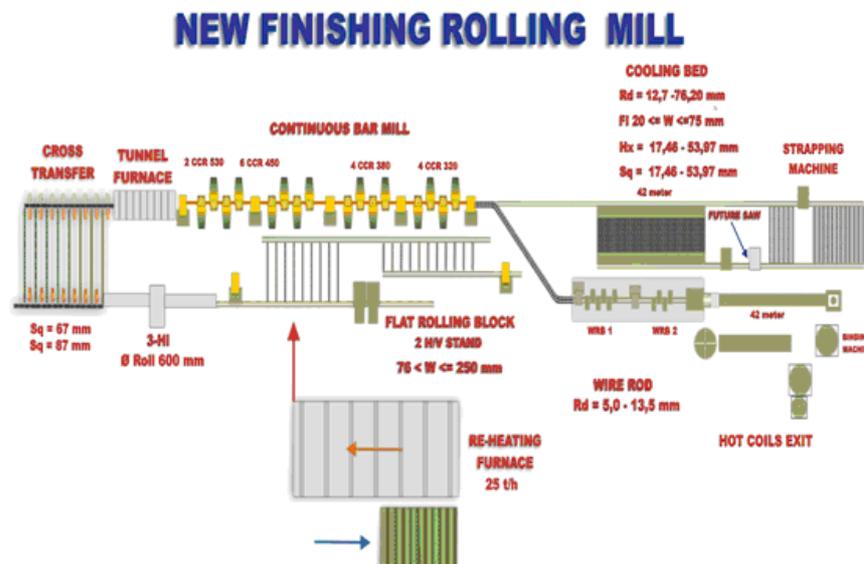


Figura 1 – Layout esquemático do laminador acabador da Villares Metals

O laminador contínuo é capaz de produzir barras redondas de até 76,20 mm, bem como barras quadradas, chatas e sextavadas. Na laminação de fio máquina, as dimensões estão entre 5,0 mm e 13,5 mm,³ com uma velocidade final de até 50 m/s no fio máquina, e em torno de 10m/s no laminador contínuo.

O laminador contínuo possui 16 cadeiras em linha tipo cassete, uma tesoura com acionamento hidráulico e quatro motorizadas, estas com controle de posição. Na linha do fio máquina, além de dois blocos acabadores, existem mais duas tesouras motorizadas que trabalham apenas em controle de velocidade.

Uma terceira possível linha de laminação é o bloco de chatos (Flat Rolling Block), no qual o material recebido do forno de reaquecimento e desbastado na cadeira trio, segue para este laminador de chatos, sem passar pela área de transferência e pelo forno de equalização. O laminador de chatos, constituído de um bloco único (com uma cadeira vertical e uma cadeira horizontal), é capaz de produzir chatos de até 250,0 mm de largura e 63,0 mm de espessura.³

O sistema de automação ainda conta com uma interface com um banco de dados, chamado de *RollMaster*, o qual é responsável por gerar todas as informações de processo para os controladores, e onde são criadas as “receitas” de laminação.

1.2 Objetivos

O objetivo do projeto fornecido pela VIA é apresentar soluções de automação e controle, incluindo uma configuração de hardware e rede de forma a atender todas as especificações contratuais do novo laminador acabador da Villares Metals (linha de laminação barras, linha de fio máquina e linha de chatos grossos).

Nesse artigo, são apresentadas as estratégias de automação e controle aplicadas, bem como a configuração de hardware e rede implementada. Serão abordados os principais métodos utilizados no desenvolvimento e no comissionamento do projeto.

1.3 Laminador a quente e suas estratégias de controle

Os primórdios da laminação são antigos. Uma ilustração de Leonardo da Vinci, datada de 1486 aproximadamente, retrata a figura de um laminador. A primeira referência à laminação a quente data de 1590.¹

Segundo Araújo,¹ um laminador deve transformar secções grandes, retangulares ou redondas, em secções menores, de formatos diversos, e ao mesmo tempo, modificar profundamente a estrutura interna do lingote destruído. A deformação da secção é conseguida mediante a pressão entre os cilindros girantes, ilustrados na Figura 2.

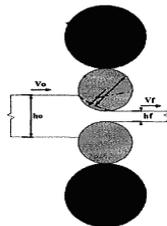


Figura 2 - Compressão realizada pelos rolos e a conseqüente redução da espessura.²

Na laminação a quente, a barra de metal, com temperatura em torno de 1.100°C, passa por uma série de cadeiras dotadas com cilindros de laminação, nas quais suas dimensões são reduzidas.

Em um laminador, o principal objetivo do sistema de controle e automação é garantir o controle do fluxo de material entre as cadeiras, evitando pressão ou tensão entre elas. O controle de fluxo é feito por meio do ajuste de velocidade das cadeiras, uma vez que, considerando que a área de seção reta está diminuindo a cada passe, a velocidade deve ser aumentada entre as cadeiras de laminação para se manter o fluxo constante.

O problema surge devido à impossibilidade de prever perfeitamente o comportamento do material e, conseqüentemente, a sua área de seção reta após a

redução. Desta forma, não é possível ajustar previamente a velocidade do cilindro de laminação com a velocidade real da barra.

Uma solução já consolidada sugere um controle de tensão mínima,⁶ a qual garante uma tensão mínima entre as cadeiras. A Figura 3 ilustra este sistema. Entre o instante t_1 e t_s , a corrente (ou torque) atual é amostrada, e muda-se o motor para controle de corrente/torque. No instante t_2 , a barra entra na próxima cadeira. Neste momento, percebe-se que a velocidade da cadeira (que se encontra em controle de corrente/torque) cai cerca de 30 rpm. Este é o erro entre a velocidade esperada para a barra e a velocidade real. Na seqüência, o sistema retorna para controle de velocidade com esta nova referência, e a nova velocidade é armazenada para a próxima barra. Esta nova velocidade é muito próxima da real, de forma que a próxima barra não sofrerá grande stress.

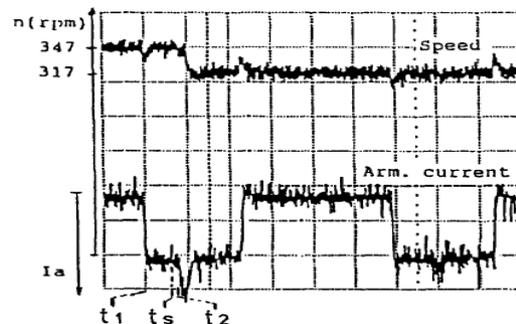


Figura 3 – Controle de Tensão Mínima⁶

Esse sistema é aplicado quando se trabalha com baixa velocidade e com grandes dimensões de material. Nos outros casos, utiliza-se o controle de laço, que é uma outra solução também já consolidada. A Figura 4 ilustra um formador de laço.

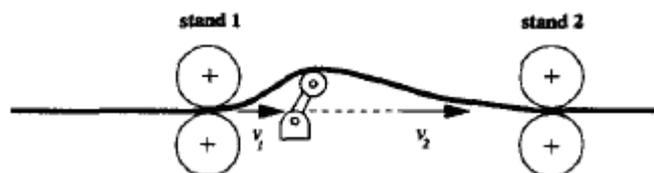


Figura 4 – Laminador com controle de Loop⁷

O controle do laço é feito por meio da alteração da velocidade da cadeira (na Figura 4, o stand 1), baseando-se na diferença entre a altura desejada e a altura atual. Normalmente utiliza-se um controlador linear PI. No entanto, devido a não linearidade do sistema, em algumas plantas utilizam-se controladores *neuro-fuzzy*.⁷

A altura do laço pode ser modelada como apresentado a seguir, pelas equações 1 e 2:⁷

$$L(t) = \int_t [v_1(t) - v_2(t)] dt \quad \text{Eq. 1} \qquad H(t) = \frac{1}{\alpha + \beta/\sqrt{L(t)}} \quad \text{Eq. 2}$$

Na equação 1, v_1 e v_2 representam as velocidades de saída da cadeira 1, e de entrada da cadeira 2, conforme indicado na Figura 4. Sendo assim, L indica a quantidade de material acumulado entre as cadeiras, desconsiderando a distância entre elas. Na equação 2, H representa a altura do laço, e os parâmetros α e β dependem quase que integralmente da construção mecânica do formador e do formato do material.

Outro grande problema de controle e automação em um laminador é o controle de corte nas tesouras, as quais devem garantir cortes precisos durante o processo de laminação, seja ele de descarte de ponta, cauda ou cortes de divisão. Além deste, cabe citar também o sistema de recebimento de barras do leito de resfriamento.

Um laminador ainda é constituído por áreas periféricas, tais como expedição e transferência, e por sistemas auxiliares, como unidades hidráulicas, de graxa, lubrificação e água.

1.4 Arquitetura do Sistema

O Sistema de Automação do Laminador constitui-se de nove CLP's, com o Sistema de Supervisão desenvolvido, em arquitetura cliente/servidor, na plataforma WinCC V6.0.

Os controladores são do tipo Siemens S7-417. Os controlados comunicam entre si através de uma rede Ethernet TCP/IP, distinta da rede de supervisão, onde os mais importantes contêm duas placas de rede para garantir alta velocidade na atualização de dados.

O sistema de supervisão possui um servidor central, estando os clientes a ele interligados por uma rede Ethernet TCP/IP. Este servidor possui duas placas de rede, pertencendo, dessa forma, a duas redes: uma onde estão incluídos os CLP's, e a outra contendo somente as estações clientes WinCC. Toda máquina tem acesso a todos os dados, independente da linha de produção ativa.

A arquitetura do sistema é representada na Figura 5:

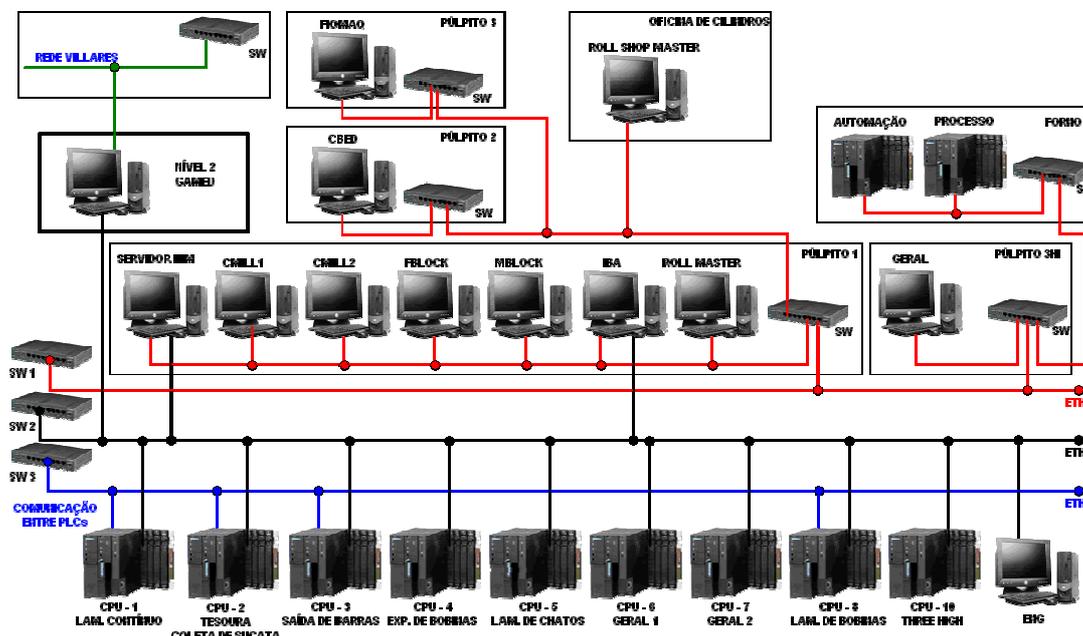


Figura 5 – Arquitetura do Sistema de Automação do Laminador

Cada CLP ainda conta com uma rede Profibus-DP para comunicação com as remotas de campo, e uma outra rede para comunicação com os drives.

2 ESTRATÉGIAS DE DESENVOLVIMENTO E COMISSIONAMENTO

O desenvolvimento do projeto foi realizado baseando-se no descritivo funcional da planta, no conhecimento do corpo técnico da VIA e no conhecimento adquirido com estudo da bibliografia referente ao assunto.

Todos os programas dos CLP's foram desenvolvidos ainda em fase de projeto. Também foram realizados testes intensivos de comunicação e programação dos drives. Desta forma, o trabalho de campo (fase de implantação) reduziu-se a testes de I/O, pequenas modificações, melhorias no código do programa e otimização de malhas de controle. O comissionamento da planta foi realizado em etapas, iniciando-se pela área de transferência, que transporta a barra da saída do forno de aquecimento até o laminador, bem como seus sistemas auxiliares.

Na seqüência, deu-se início ao comissionamento da área do laminador, envolvendo tesouras, ajuste de luz das cadeiras e posicionamento vertical dos canais dos cilindros de laminação, bem como todos seus sistemas auxiliares.

Paralelamente ao comissionamento do laminador, deu-se início ao comissionamento do leito de resfriamento e da área de manuseio e amarração, que receberiam as barras laminadas.

Quando grande parte do sistema (linha de laminação de barras) encontrava-se em fase de teste a quente, deu-se início ao comissionamento do laminador de chatos (FRB), do formador de espiras e da área de expedição de bobinas.

O comissionamento a quente foi facilitado com a utilização de ferramentas de aquisição e análise de dados, o ibaPDA e o ibaAnalyser, respectivamente. Estas ferramentas possibilitam a coleta de dados a uma alta taxa de amostragem e grande flexibilidade da configuração de novos sinais, uma vez que estes podem ser recebidos diretamente do CLP, via Ethernet. A análise dos dados coletados facilita a identificação de erros, bem como ajustes de parâmetros do processo a fim de aumentar o desempenho etc.

3 TÉCNICAS DE CONTROLE UTILIZADAS NO PROJETO

3.1 Interface com o RollMaster

O sistema de automação conta com a interface com um sistema, o *RollMaster*, responsável por gerar todas as informações de controle do processo. Os dados fornecidos pelo RollMaster são lidos pelo sistema de supervisão e enviados aos controladores.

Este sistema, baseado no tipo de material e nas dimensões desejadas para o produto final, gera as informações necessárias, tais como: referência de velocidade para todos os motores principais das cadeiras de laminação, tanto do laminador contínuo quanto do laminador de chatos; seleção de utilização de controle mínimo de tensão ou laço, incluindo a referência de altura; referências para o ajuste da luz dos cilindros; referência de posicionamento da cadeira; quantidade de água utilizada na refrigeração dos rolos, entre outras.

3.2 Rastreamento

Uma das técnicas mais importantes utilizadas no laminador foi o rastreamento da barra. Isso se faz necessário para identificar a posição da barra quente e dar início às seqüências automáticas.

O rastreamento inicia-se na mesa rotativa, localizada na saída do forno de aquecimento. A presença da barra é verificada por meio de um detector de metal quente (HMD – Hot metal detector). Assim que sua presença é percebida, dá-se início ao processo de transferência até o descarepador, que parte sua seqüência.

A seguir, a barra é desbastada e chega até uma outra área de transferência, na qual existe um outro HMD utilizado para partir a seqüência de transferência. Esta seqüência consiste no acionamento de braços hidráulicos que transportam a barra até um carro movido por um motor AC, acionado por um Masterdrive. Um sensor indutivo detecta a presença do carro no final da linha e inicia a transferência da barra, por meio de outros braços hidráulicos, para uma mesa de rolos localizada na linha de laminação. A mesa de rolos conduz a barra até a entrada da primeira tesoura, acionada hidraulicamente.

O corte é efetuado levando em consideração o rastreamento da barra entre o HMD localizado próximo à tesoura, bem como a velocidade da barra e a velocidade de avanço da tesoura, garantindo um corte como programado.

A barra então segue para a primeira cadeira de laminação, que detecta a entrada da barra por meio da variação do torque do motor. Nesse instante, um rastreamento é usado para realizar o monitoramento da barra até a próxima cadeira, considerando o encoder localizado no eixo do motor. Este processo é realizado até a saída da última cadeira utilizada para laminação.

O rastreamento entre as cadeiras é extremamente importante para a realização do controle mínimo de tensão, uma vez que, por meio dele, é possível determinar facilmente os pontos apresentados na Figura 3.

Em frente a cada conjunto de quatro cadeiras existe uma tesoura motorizada que realiza corte considerando a detecção de barra por um HMD (localizado a frente da última cadeira antes da tesoura) e o rastreamento da barra, utilizando o encoder localizado no motor da última cadeira selecionada para laminar antes da tesoura.

O corte é efetuado de acordo com o programado, sendo ele de ponta, cauda ou divisão. O corte de divisão é realizado de tal forma que cada pedaço seja o mais próximo possível de um múltiplo do tamanho comercial (tamanho especificado pelo cliente), a fim de evitar sobras, considerando o tamanho do leito como tamanho máximo permitido.

A barra que sai do laminador contínuo segue para o leito de resfriamento, onde a mesma é rastreada a fim de fazer o cálculo do momento de jogá-la sobre o leito. Cabe ressaltar que este rastreamento é relativamente importante ao se trabalhar com velocidades altas (acima de 6m/s), quando o escorregamento da barra, após cair no leito, é grande. Esse escorregamento é computado e considerado no cálculo do momento de jogar a barra no leito a fim de que ela caia na posição desejada.

Após cair no leito, a barra é rastreada, dividida em lotes, cortada, amarrada e transferida até o final da linha.

Quando o destino final da barra é o fio máquina, a barra é rastreada até o monobloco e o formador de bobinas, através de HMD's e detecção de presença de barra nos monoblocos pelo torque dos motores.

Após a expira ser formada, a barra é rastreada até a área de expedição de bobinas, onde é amarrada e transferida até o final da linha de expedição.

3.3 Controle de sistemas com acionamento hidráulico e controle de Luz

A fim de garantir o desempenho e robustez dos sistemas com acionamentos hidráulicos, foram utilizadas técnicas de controle em malha fechada nos casos em que existia a necessidade de controle de posição ou velocidade.

Essa técnica foi aplicada na mesa giratória na saída do forno de aquecimento, a qual necessita fazer um movimento entre a saída do forno até a entrada do descarepador. Esse movimento deve ser rápido a fim de evitar perdas de temperatura.

O posicionamento das cadeiras (para escolha da ranhura que será utilizada para laminar) também necessita ser rápida e precisa, a fim de evitar perdas de tempo durante as trocas de bitolas.

Nestes dois casos, foi escolhida a técnica de controle em malha fechada, uma vez que a pressão do sistema hidráulico pode flutuar, e o agarramento mecânico varia de acordo com a lubrificação do sistema. Um sistema em malha aberta, com utilização de rampas, por exemplo, não apresenta bons resultados, pois são muito susceptíveis a estas variações.

Foi usado, nesses dois casos, um controle em cascata, no qual a malha mais interna controla a velocidade por meio de PI, e a malha mais externa controla a posição por meio de um controlador puramente proporcional, o qual gera a referência para a malha de velocidade. A sintonia destes controladores foram baseadas nas técnicas apresentadas em Jota,⁵ mais especificamente no método da síntese direta para a malha de velocidade e no critério de velocidade de resposta para a malha de posição. A Figura 6 mostra o esquema de controle utilizado. Neste esquema, a posição é gerada por um encoder, e a saída do controlador atua em uma válvula proporcional.

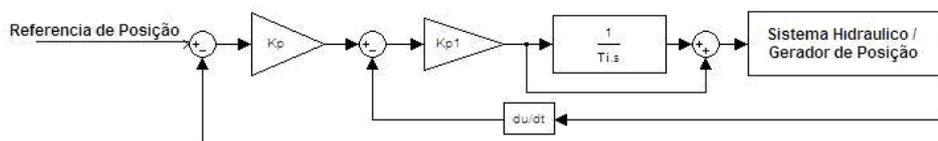


Figura 6 – Malha de Controle de Posição em Cascata

Esquema parecido a este foi utilizado para controle de velocidade de avanço da serra abrasiva, responsável por fazer os cortes finais nas barras laminadas. Nesse caso, o sistema foi utilizado pelas mesmas razões expostas para o controle da mesa e das cadeiras, e adicionalmente, pelo fato de que, durante o corte, a carga na serra varia consideravelmente.

No caso da serra, foi utilizado apenas o controle de velocidade. Referindo-se a Figura 6, apenas foi retirado o *loop* mais externo, e a referência de velocidade é recebida diretamente do sistema de supervisão.

A mesma estrutura de malha de controle mostrada na Figura 6 foi utilizada para o ajuste de luz dos cilindros. O sistema possui um motor com velocidade controlada por um MASTERDRIVE, um encoder para transmitir o valor atual da luz e um controlador de posição no CLP, fechando a malha do sistema. Esse sistema trabalha com precisão de 0.02 mm.

3.4 Controle de Laço

Para realização do controle do laço foi escolhido um controlador PI. A sintonia deste controlador passou por uma fase de modelagem do sistema, baseado nas equações 1 e 2. O controlador foi especialmente projetado para a aplicação, o qual utiliza uma adaptação de ganho de acordo com a condição operacional, e implementação de controle de saturação da ação integral do controlador por meio de um PI, com anti-reset windup.

Os parâmetros α e β , do modelo foram definidos por meio de cálculos considerando a conformação mecânica do formador, e validados por meio de testes ainda na fase de projeto.

Definido o modelo, foram realizadas simulações, e o sistema foi dividido em faixas (uma vez que apresenta grande não-linearidade). Em cada faixa, o sistema foi modelado como um integrador. A partir deste modelo, os parâmetros do controlador foram definidos. A Figura 7 apresenta uma resposta típica do laço a um degrau de velocidade.

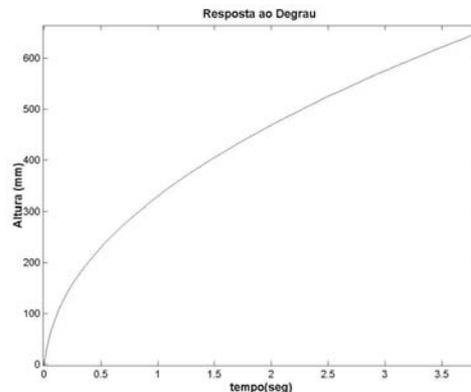


Figura 7 – Resposta ao degrau de velocidade do laço

3.5 Otimização dos Drives

Considerando que o laminador apresentado é um sistema rápido, os drives devem assegurar uma rápida resposta a fim de garantir o desempenho do sistema. Os principais drives do sistema tiveram suas malhas de controle otimizadas, com o intuito de atender a estas especificações.

Dentre os drives, vale ressaltar o Masterdrive, com uma placa tecnológica (T300),⁸ que realiza o controle de posição das tesouras. A T300 é especialmente projetada para controle de posição, e trabalha com grande precisão.

Basicamente a T300 opera com um controle em cascata, como o apresentado na Figura 6, com o diferencial de que possui um gerador de referência de posição, e ainda, uma malha mais interna para controle de torque. Na Figura 8 é mostrado o diagrama de controle utilizado pela T300.

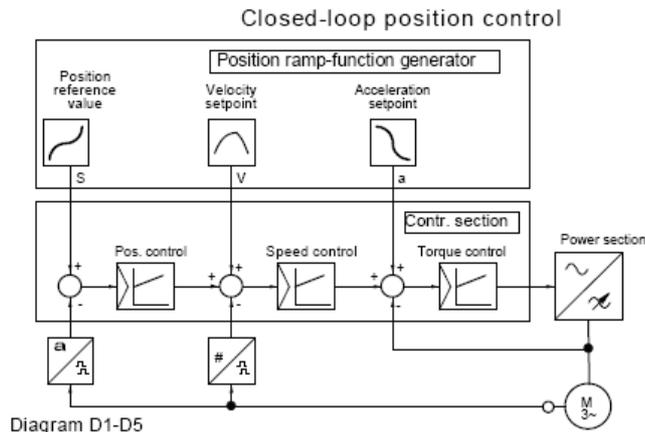


Figura 8 – Diagrama de controle da T300⁸

Para gerar a referência de posição, o drive recebe a velocidade máxima a ser atingida, a rampa de aceleração e desaceleração e a referência de posição. A partir destas informações, o drive calcula o caminho teoricamente percorrido pelo sistema até atingir a posição desejada. Este caminho é a referência de posição para o controle de posição. Desta forma, o controle de posição fica responsável por fazer apenas as pequenas correções da posição.

No entanto, o drive parte do pressuposto de que a malha de velocidade é capaz de garantir um baixo erro em velocidade durante o posicionamento. Desta forma, fica evidente que, para garantir o sucesso do posicionamento, a malha de velocidade deve estar muito bem sintonizada.

Durante o corte, a velocidade tangencial da tesoura deve ser igual ou um pouco maior que a velocidade da barra. Considerando que a posição inicial da tesoura é relativamente próxima da posição de corte, esta deve possuir uma grande aceleração para conseguir atingir a velocidade desejada durante o corte. Isso dificulta ainda mais o controle.

Para resolver tal problema, foi utilizado um recurso do Masterdrive para o controle de velocidade: pré-controle de torque. Essa técnica consiste em aplicar um torque adicional no motor no momento da aceleração. O sistema ganha velocidade de resposta e evita a necessidade de se usar um ganho proporcional muito grande para a malha de velocidade, o que causaria stress da máquina.

Este torque adicional é calculado considerando a inércia do equipamento que se deseja acelerar, e qual aceleração se deseja imprimir ao sistema. Este, então, é adicionado diretamente à referência de torque, juntamente com a referência gerada pelo controlador de velocidade. A Figura 9 ilustra essa idéia. Todas as quatro tesouras da linha de laminação contínua trabalham com este princípio.

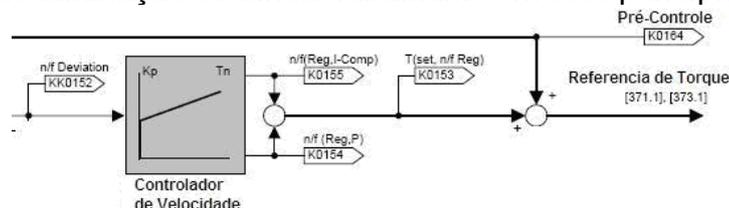


Figura 9 – Ilustração do Pré-Controle de Torque⁴

4 RESULTADOS

A aplicação das técnicas expostas neste artigo proporcionou a obtenção de bons resultados do processo, garantindo o desempenho desejado. A seguir serão apresentados gráficos que demonstram alguns dos resultados obtidos.

A **Figura 10** exibe uma tela sinóptica, na qual o operador tem uma visão geral do laminador, de forma a interferir no processo quando necessário. Nesta figura são mostradas as oito primeiras cadeiras do laminador no momento em que uma barra estava sendo laminada no primeiro grupo de quatro cadeiras.

Nas colunas (gráficos de barras) acima de cada cadeira é indicado o torque de forma que o operador possa verificar possíveis tensões ou compressões (um torque oscilatório indica uma dessas condições). Na tela também são mostradas as três primeiras tesouras da linha (CP1, C4 e C8). Algumas outras informações adicionais são exibidas nesta tela, como velocidade atual de cada cadeira, luz etc.

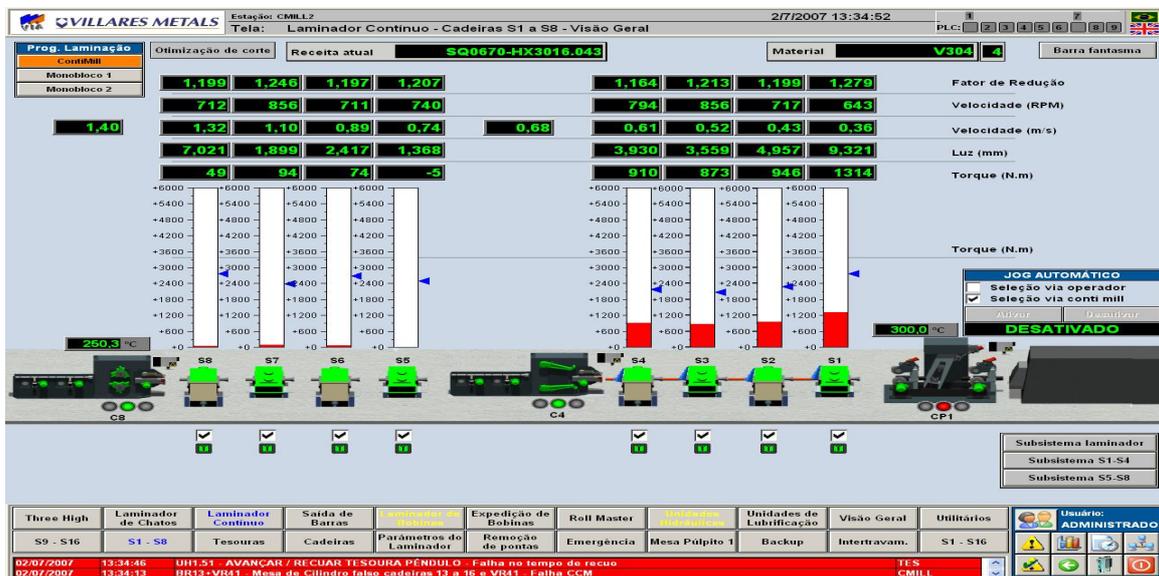


Figura 10 – Tela de Supervisão do Laminador Contínuo

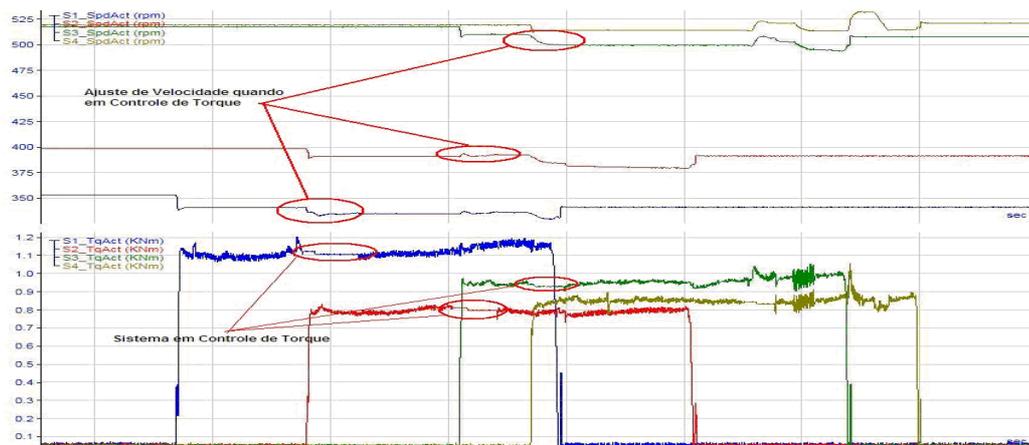


Figura 11 – Controle Mínimo de Tensão Aplicado entre Quatro Cadeiras

A Figura 11 apresenta a aplicação do controle mínimo de tensão no laminador contínuo. Percebe-se que a velocidade é corrigida e mantida durante o controle de torque. Verifica-se também que o momento em que o sistema inicia o controle de torque é um pouco antes da entrada da barra na cadeira posterior, o que

proporciona melhores resultados. Isto é possível devido à precisão conseguida no rastreamento da barra. Essa mesma técnica é aplicada no laminador de chatos.

Na Figura 12, são apresentadas as curvas das alturas dos seis laços formados no laminador contínuo, bem como as respectivas variações de velocidades realizadas pelo controlador PI. Percebe-se que, quando ocorre variação de velocidade para formação de um determinado laço, todas as cadeiras anteriores a este laço seguem esta alteração. Essa é uma característica do laminador, que garante sempre uma razão constante de velocidade entre duas cadeiras, podendo ser alterado apenas pelo controle mínimo de tensão ou pelo controlador do laço.

Na linha do monobloco existem mais dois laços: um entre a cadeira dezesseis e o primeiro monobloco, e outro entre os dois monoblocos, onde a barra pode atingir velocidade de até 35m/s.

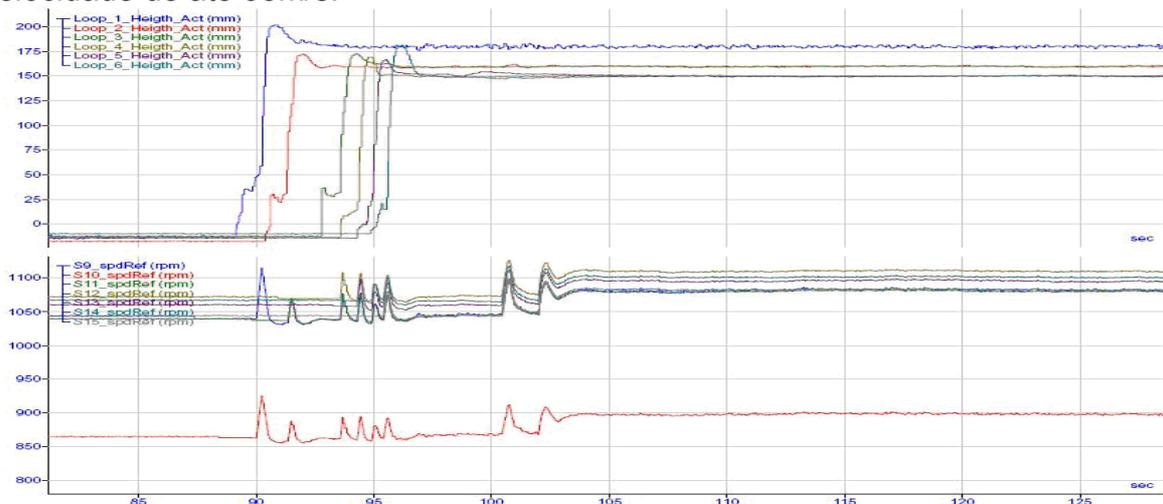


Figura 12 – Formação dos laços no laminador

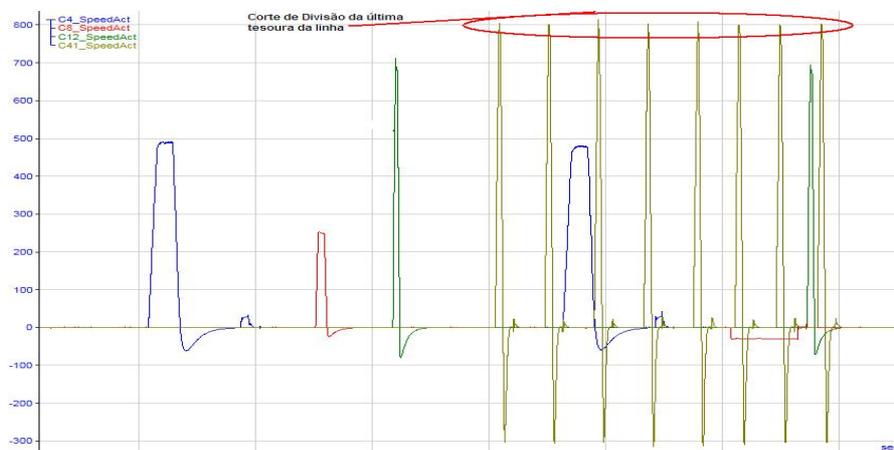


Figura 13 – Cortes das tesouras

Na Figura 13, são mostradas as velocidades das tesouras durante o corte. Verifica-se que a tesoura C41, localizada após a última cadeira de laminação, realiza vários cortes sucessivos, chamados cortes de divisão. As demais tesouras realizam corte de ponta e cauda, podendo também realizar cortes de divisão quando necessário.

Na Figura 14 é apresentada a variação da velocidade durante um ciclo de corte. A aceleração, sob ação do pré-controle, assegura que a tesoura atinja a velocidade da barra antes de atingir a posição de corte, como indicado, enquanto que a desaceleração assegura o perfeito posicionamento após o corte.

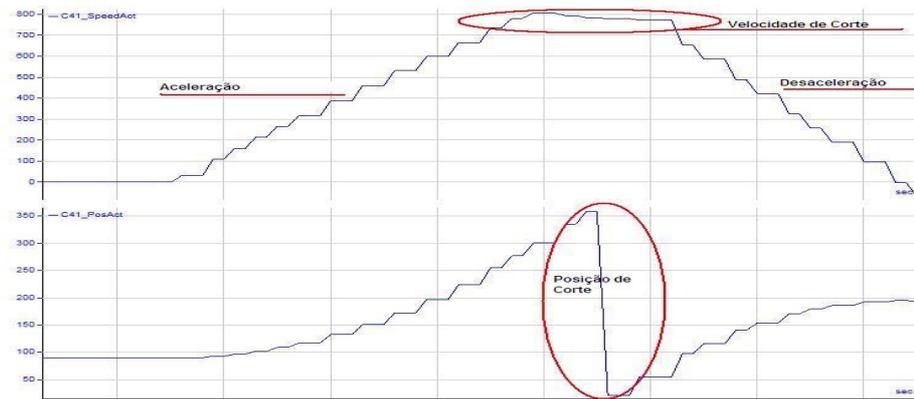


Figura 14 – Variação da velocidade durante um ciclo de corte

5 CONCLUSÃO

A estratégia de automação adotada, tanto na parte de configuração de hardware e rede, quanto nas técnicas de automação e controle, mostrou-se satisfatória, uma vez que as especificações de desempenho, qualidade e segurança foram plenamente atendidas.

O projeto proporcionou a integração de uma grande quantidade de tecnologias e a utilização de conceitos avançados de engenharia. Destacam-se aqui a implementação de controladores PI e implementação de soluções que utilizam a teoria de controle em CLP S7-417, bem como a comunicação com drives de alto desempenho, como o MASTERDRIVE, destinados ao controle de velocidade ou torque, podendo estar associado com a T300 para controle de posição.

O sistema de supervisão, com telas de fácil utilização, possibilita uma perfeita interação entre o operador e o processo, ainda que o grau de automação implantado evite a necessidade de constantes intervenções do operador no sistema.

Agradecimentos

A todo o corpo técnico da VIA que trabalhou no projeto, em especial ao Marcelo Cabaleiro, por sua significativa contribuição.

REFERÊNCIAS

- 1 L. A. de Araújo. **Manual de Siderurgia – Vol. 2 – Transformação**. São Paulo: Arte e Ciência, 1997;
- 2 E. Scholtz, I. K. Craig, P. C. Pistorius, **Strip Thickness and Tension Modeling for the Control of a Steckel Hot Rolling Mill Process**. International Conference on Control Applications, 2000;
- 3 L. Giacomini. **Recent major Siemens VAI start-ups in the long-product sector**. Metals & Mininig, 2007. Disponível em: www.industry.siemens.com/metals/en/news/newsletter/m mz_02_2007/pdf/Metals_Mining_No-2-2007_34-35.pdf Acesso em: 30 de Junho de 2007;
- 4 Siemens, **SIMOVERT MASTERDRIVES, Vector Control**. Siemens AG 1998.
- 5 F. G. Jota. **Técnicas de Controle de Processos Industriais**, 1998;
- 6 A. P. Pollmann. **Control Strategies for Rolling Mills**. Pescantine – VR, Italy;
- 7 F. Jnabi-Sharifi, J. Fan, **Self-Tuning Fuzzy Looper Control for Rolling Mills**. Conference on Decision and Control, Australia, 2000;
- 8 Siemens, **Standard Software Package – MS380 Positioning for T300 Technology Board in SIMOVERT MASTERDRIVES 6SE70/71**. Software release 1.32.