

SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROLE DE PONTAS DE TIRAS NA LAMINAÇÃO DE DESBASTE DA LTQ DA APERAM¹

Alexandre Henrique F. Dias²

Glaucio Barros Barcelos²

Felipe Grativol Lima²

Arísio de Abreu Barbosa³

Clarissa Growoski Féder³

Elison Pinho dos Santos⁴

Resumo

Este trabalho foca a solução do fenômeno de “ponta alta” ou “baixa” no laminador desbastador, fenômeno este definido como encurvamento das extremidades do esboço para cima ou para baixo na saída do laminador, o qual pode causar danos aos equipamentos e até o sucateamento do produto. A solução foi implantar lógica de automação capaz de permitir o ajuste operacional da diferença de velocidade entre cilindros de trabalho superior e inferior do laminador em até 20% por um comprimento de até 3 metros a partir da extremidade do esboço. Na prática, se o material apresentar “ponta alta” o operador deve ajustar, pelo sistema de supervisão, a diferença de velocidade entre os cilindros de trabalho de forma que a do cilindro superior seja maior que a do cilindro inferior, fazendo com que a ponta do material abaixe. Os testes iniciaram em setembro de 2008 e atualmente o recurso já está padronizado e utilizado extensivamente. Em 2007 e 2008 os custos de sucateamento e de perda por hora parada na LTQ somaram mais de 1 milhão de reais. Em 2009, ano em que o projeto teve sua utilização difundida, estes custos somam aproximadamente 139 mil reais, uma redução de mais de 87%.

Palavras-chave: Laminador desbastador; Ponta alta/baixa.

TURN-UP/TURN-DOWN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF APERAM'S ROUGHING MILL

Abstract

This paper describes the solution of the phenomenon “plate's high/Low end curvature” in the Rougher mill, a phenomenon defined as a strip curvature to up or down at the mill output, which can cause damage to equipment and even the scrapping product. The solution was to implement automation logic that allow the operator to do difference speed adjustment between work rolls of the mill the upper and lower in up to 20% for a length of up to 3 meters from the edge of the plate. In practice, if the plate presents a “high end curvature”, the operator has to adjust, by the supervisory system, the speed difference between the working cylinders so that the upper cylinder's velocity will be greater than that of the lower cylinder's velocity, causing the turning down of material tip. The tests began in September 2008 and now the feature is already standardized and been extensively used. In 2007 and 2008 the costs of scrapping and loss per stop hour in HSM totaled more than \$ 1 million reais. In 2009, the year that the project had its widespread use, these costs amount to approximately 139 thousand reais, a reduction of more than 87%.

Palavras-chave: Rougher; Strip's tip curvature.

¹ *Contribuição técnica ao 16º Seminário de Automação e TI Industrial, 18 a 21 de setembro de 2012, Belo Horizonte, MG.*

² *Engenheiros de automação, Gerência da Laminação a Quente da Aperam; Timóteo - MG.*

³ *Engenheiros de processo, Gerência da Laminação a Quente da Aperam; Timóteo - MG.*

⁴ *Engenheiros eletricitistas, Gerência da Laminação a Quente da Aperam; Timóteo - MG.*

1 INTRODUÇÃO

O processo de transformação de bobinas laminadas a quente é constituído basicamente de cinco fases: reaquecimento de placas, laminação de desbaste, laminação de acabamento, resfriamento da tira e bobinamento. Seguindo um único fluxo de produção mostrado na Figura 1, a placa, oriunda da Aciaria, é reaquecida no forno de reaquecimento e em seguida a sua espessura inicial é reduzida para uma espessura intermediária, na fase de desbaste no laminador desbastador. O produto desta fase é o que chamamos de esboço. O esboço é então laminado para a espessura final que pode variar de 2,0 mm a 12,7 mm no laminador acabador Steckel e, finalmente, já na forma de tira, é resfriada e bobinada. Ao longo de cada uma dessas fases são controlados vários parâmetros de processo, tais como: temperatura, velocidade, espessura, tempo, etc., para todos os aços processados na laminação de tiras a quente – LTQ.

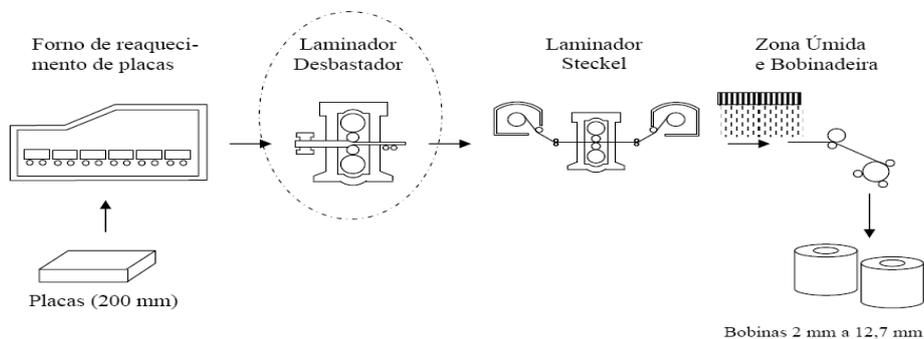


Figura 1 - Esquema simplificado da laminação de tiras a quente.

O processo de desbaste é realizado na LTQ pelo laminador desbastador denominado como Rougher. Este equipamento em questão é o foco deste projeto aqui exposto.

O laminador Rougher consiste de uma cadeira de laminação quadro reversível, ou seja, uma cadeira composta de quatro cilindros dotados da capacidade de giro horário e anti-horário, conforme a necessidade do processo. Tal configuração pode ser observada na Figura 2 a.

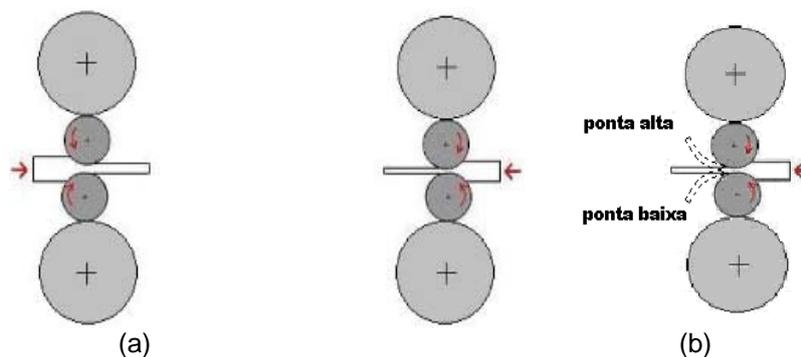


Figura 2– (a)Esquema de laminação quadro reversível. (b) Ponta alta e ponta baixa.

Durante o processamento no laminador Rougher, o material pode ter sua extremidade encurvada para cima ou pra baixo. É este encurvamento que denominamos ponta alta ou ponta baixa (Figura 2b).

2 OBJETIVO

Reduzir a ocorrência de “ponta alta/baixa” no laminador desbastador, das sucatas decorrentes, das interrupções do processo produtivo e do risco de colisão do esboço ou da tira com os equipamentos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A busca por melhores resultados e por custos de produção mais baixos impulsionam análises mais críticas dos processos, reduzindo a tolerância a falhas e a desvios do produto final. Sendo assim, procedimentos e métodos capazes de evitar perdas de material e danos aos equipamentos impactam forte e favoravelmente nos custos de produção, tornando o processo mais robusto e o negócio mais rentável.

O encurvamento das pontas do esboço durante o processamento do material no laminador desbastador Rougher pode ter como consequência a colisão do esboço com as mesas de rolos, se a ponta tiver seu encurvamento para baixo, podendo causar sérios danos ao equipamento. A ponta alta, dependendo da sua altura, pode colidir com outros equipamentos da linha como cabeçote de descarepação, tesoura de chapas grossas e a tesoura de pontas. Nos casos em que a ponta do material ficava com altura elevada e não era possível passar pela tesoura de chapas grossas, os operadores eram forçados a retornar com o esboço para o laminador e passar a ponta entre os cilindros para baixá-la. Este procedimento, apesar de necessário, ocasiona diversos transtornos como perda de temperatura e variação da espessura do esboço, além de atrasos no processo. Em algumas situações torna-se viável a decisão de sucatar o esboço, elevando o custo de produção e impactando negativamente a produtividade da linha.

As causas para ocorrência de ponta alta ou ponta baixa são diversas e difíceis de controlar. Abaixo, são listadas as principais:^(1,2)

- diferença de velocidade entre cilindros;
- diferença entre os coeficientes de atrito do esboço com os cilindros de trabalho (ex.: carepa incrustada);
- distribuição heterogênea da resistência a deformação ao longo da espessura, devido a aquecimento irregular;
- ângulo de entrada do esboço desfavorável; e
- grau de penetração da deformação; e desalinhamento entre os mancais dos cilindros de trabalho.

O fenômeno ponta alta/baixa, sendo uma condição de processo ainda não controlada, que pode afetar negativamente a vida útil dos equipamentos, a produtividade e o custo de produção, motivou a busca por métodos e estratégias que resultaram na implantação deste trabalho.

4 METODOLOGIA

A metodologia de solução do problema em questão resume-se em implantar um sistema de controle de direcionamento das pontas do material em processo no laminador Rougher que possa ser configurado e habilitado pelo operador por meio do sistema supervisor.

A implantação de tal controle adotou a sequência de procedimento abaixo:

- conhecer a forma de acionamento dos cilindros de trabalho do laminador desbastador;
- conhecer a estratégia de referência de velocidade do laminador desbastador;
- planejar a forma de atuação do controle a ser criado e a interface com o operador do laminador;
- implantar a estratégia de controle planejada; e
- realizar as experiências necessárias e avaliar os resultados.

4.1 Acionamento do Laminador Desbastador

Conforme já mencionado, o laminador desbastador tem a configuração quadro reversível. Nesta configuração os cilindros maiores, chamados cilindros de encosto, não são acionados, os mesmos são arrastados pelos cilindros menores, chamados cilindros de trabalho.

Os cilindros de encosto então têm função na aplicação de força na conformação mecânica do material. Já os cilindros de trabalho têm a mesma função, porém, os mesmos são dotados de acionamento por motor individualizado e com velocidade controlada e sincronizada entre eles e os equipamentos auxiliares. O acionamento dos cilindros de trabalho é realizado por motores de corrente contínua e estes têm sua velocidade controlada por um conversor AC/DC, conversor este que possui embarcado as malhas de controle de corrente, torque, velocidade, entre outras, e ainda possui as configurações de proteção do equipamento. O conversor, por meio de seus módulos de entrada e saída, é capaz de controlar o acionamento dos cilindros conforme referências e comandos remotos.

4.2 Estrutura dos Equipamentos do Laminador Desbastador

Esta seção trata de alguns detalhes sobre as duas camadas de base da pirâmide de automação e controle aplicado ao laminador desbastador,⁽³⁾ ou seja, o nível 1 e 2 de automação.

O nível 2 da laminação de tiras a quente é baseado em uma estrutura de cliente-servidor. Os clientes tem aplicativo em “Visual basic 6” sobre o sistema operacional Windows XP e os servidores na plataforma do sistema operacional “OpenVMS” com tarefas programadas em linguagem “ANSI C”.

Os clientes de nível 2, denominados supervisórios, realizam comunicação com o servidor por meio de soquete TCP/UDP, onde o servidor transmite informações de atualização de tela via mensagens UDP e os clientes enviam comandos ao servidor por TCP.

As tarefas do servidor de nível 2 são responsáveis pelo modelo matemático da linha, interface entre o operador e o acionamento dos equipamentos, gerenciamento de receitas e referências de controle dos equipamento e a interface entre o equipamento e o sistema de controle de produção da planta (nível 3).

Por meio dos supervisórios, o operador pode estabelecer parâmetros, ajustes e referências necessários ao controle dos equipamentos durante o processo de produção.

O nível 1 é constituído de todos os equipamentos elétricos e eletrônicos que, de posse dos dados fornecidos pelo nível 2 e do sensoriamento e rastreamento do processo, é capaz de realizar o posicionamento dos equipamentos e também gerar as referências para o mesmo. Entre estes equipamentos, pode-se destacar o SDCD (Sistema Digital de Controle Distribuído) que troca dados com o nível 2 por mensagens TCP/UDP, CLP (Controlador Lógico Programável) e os conversores AC/DC digitais.

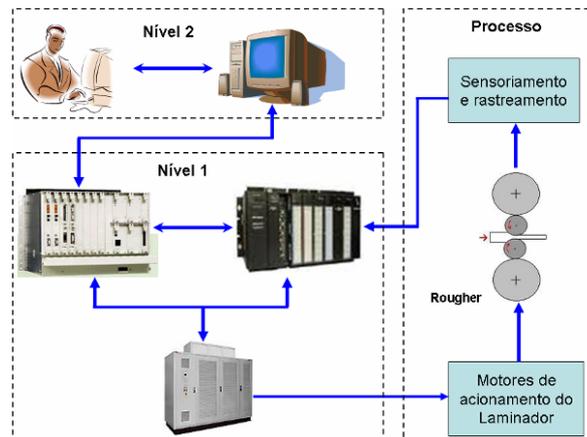


Figura 3 – Esquema básico de automação e controle do laminador desbastador.

Na Figura 3 destaca-se então a automação computacional de Nível 2 onde se encontram as estações de operação e servidores. No Nível 1, devido a melhor capacidade de cálculos matemáticos e velocidade de processamento, o SDCD tem a função de gerar as referências para os equipamentos, além de sincronizá-los. O CLP, tendo atributos de lógicos discretos, tem a função de rastrear o material por meio de sensores e realizar a seqüência das etapas do processo interagindo e comandando os demais equipamentos. O conversor, com malhas de controle embarcadas, realiza o acionamento dos motores do laminador.

Sendo o SDCD o gerador de referência, é nele que está embutida a estratégia de controle de velocidade do laminador em questão. A estratégia, de forma resumida, é baseada em fazer com que os motores que movimentam os cilindros de trabalho atinjam a velocidade programada para o passe de laminação ou referência manual (advinda do operador). Para atingir a velocidade desejada, o SDCD calcula uma rampa de aceleração que atenda a capacidade de acelerar de todos os equipamentos envolvidos no processo.

Sob a carga de laminação, devido às forças envolvidas, é possível que um cilindro de trabalho realize mais ou menos torque sobre o material em relação ao outro. Tal evento é indesejável, pois pode acarretar danos ao material. A estratégia de controle de velocidade é dotada de um controle adaptativo de rampa de velocidade (ARC), que com base nas curvas que relacionam corrente, torque e velocidade, acondiciona a referência de velocidade deste motor para sincronizar o torque realizado com o outro.

A Figura 4 esboça o esquema básico da estratégia de controle de velocidade do laminador, contemplando o ARC (Controle adaptativo de rampa).

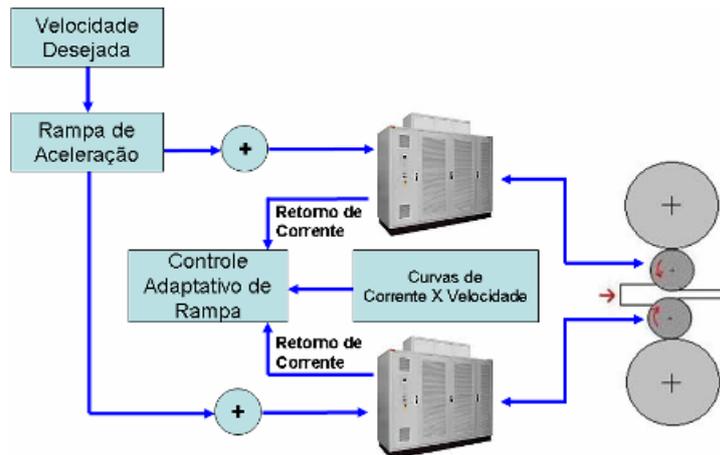


Figura 4 – Controle adaptativo de rampa de velocidade do laminador.

4.3 A Estratégia do Controle de Pontas

O controle de pontas atua apenas no comprimento do que se considera ponta do material, através de torques diferenciados na superfície superior e inferior do material. Esta diferença de torque é realizada pelo delta de velocidade entre o cilindro de trabalho superior e o inferior. A diferença de velocidade é limitada para não provocar danos superficiais severos no material e cilindro.

A atuação do controle de pontas é evitada pelo controle adaptativo de rampa que, como já mencionado, fará com que a referência de velocidade seja adaptada para a realização do mesmo torque pelos cilindros (Figura 5). Portanto, para a efetiva correção das pontas, o controle adaptativo de rampa deve ter sua atuação inibida enquanto estiver ativo o controle de pontas, e, ao fim deste evento o mesmo deve ser habilitado.

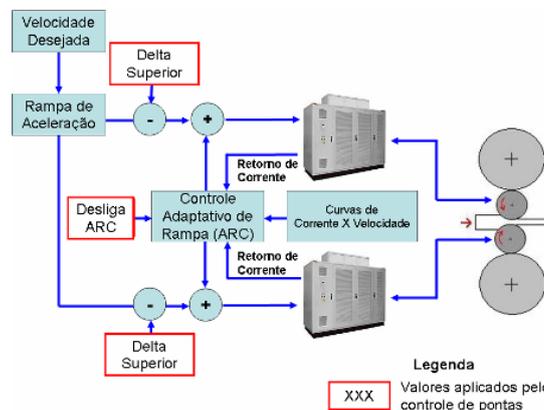


Figura 5 – Inserção do controle de pontas na atual lógica de controle.

O controle de pontas tem seus parâmetros acessíveis ao operador e este, por sua vez, é capaz de ativar ou desativar o controle de pontas conforme a necessidade. Os parâmetros para atuação do controle de pontas, os quais o operador deve informar, são:

- Comprimento de atuação controle. (Faixa de trabalho: 0 a 3 m);
- Percentual de diferença de velocidade. (Faixa de trabalho: 0 a 100%); e
- Direção de atuação (Ponta Alta, Ponta Baixa).
- Estes parâmetros são atualizados pelo operador através da estação de operação (Nível 2), eles são tratados pelo SDCD (Nível 1). O percentual de

diferença de velocidade quando ajustado para 100% é transformado em um fator multiplicador da referência de velocidade de 0,2, o resultado então é o delta aplicável às referências (Figura 6).

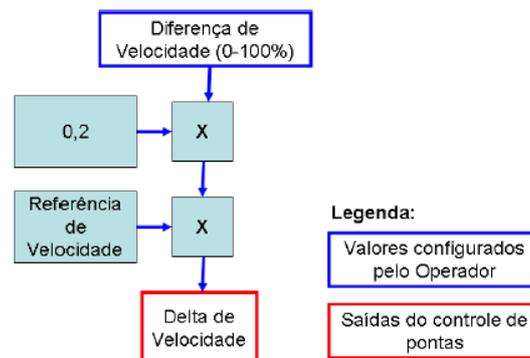


Figura 6 – Cálculo de referência para delta de velocidade do controle de pontas.

Se a solicitação do operador for ponta alta, a referência de velocidade do motor do cilindro inferior é subtraída do delta de velocidade calculado. No caso de ponta baixa, o delta é aplicado na referência do motor superior.

O tempo de atuação do controle de pontas é baseado no comprimento informado pelo operador. Para isto, no instante em que o material é detectado entre os cilindros, o SDCD inicia um cálculo integral da velocidade média entre os motores inferior e superior para mensurar indiretamente o comprimento de material que já passou por entre os cilindros. O valor de comprimento calculado é comparado com o configurado pelo operador, quando o primeiro alcança o valor maior ou igual ao segundo a ação do controle de pontas é encerrada neste passe de laminação (Figura 7).

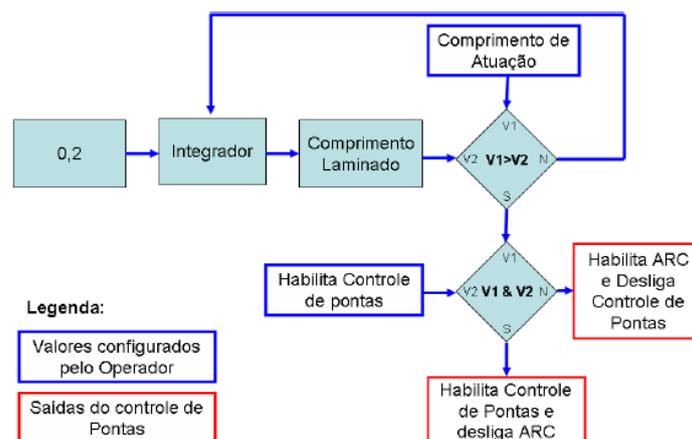


Figura 7 – Cálculo de comprimento laminado e Ativação de ARC ou Controle de Pontas.

O delta de velocidade é subtraído e não adicionado às referências para garantir a atuação do controle mesmo em limite superior de velocidade, pois, se os cilindros estiverem em velocidade máxima e o controle adicionar o delta à referência de um deles, este não será efetivamente realizado, pois, será ceifado pelo limite do equipamento.

Esta, portanto, é a estratégia de controle adotada para contornar a ocorrência de ponta alta ou baixa no laminador desbastador.

4.4 Fluxo das Informações de Operação do SKI

Para a entrada das informações, que devem ser fornecidas pelo operador, foi desenvolvida tela de parâmetros e habilitação da estratégia de controle de pontas, estas informações são enviadas ao servidor onde foram implementadas mensagens de comunicação específicas para envio da receita para o SDCD e para retorno de informações para atualização das telas.

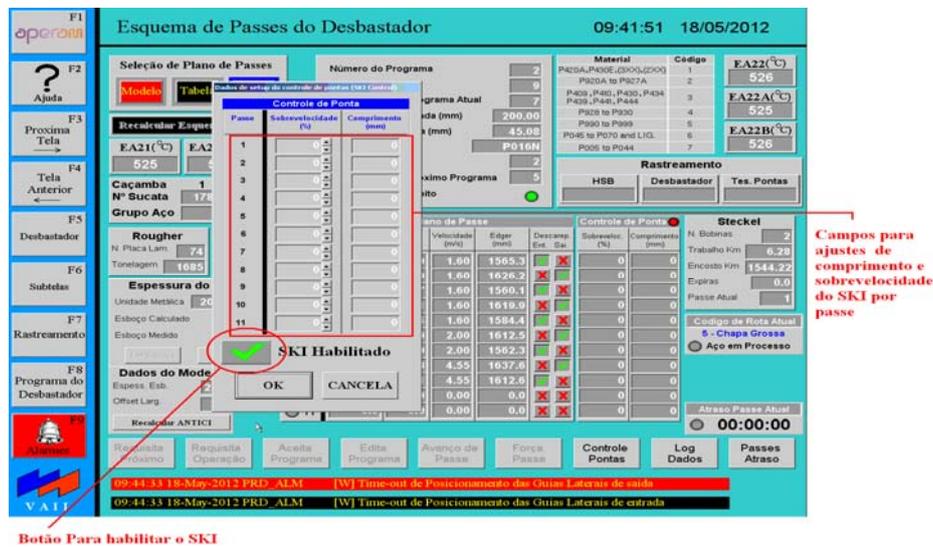


Figura 8 – Tela do supervisor na seção esquema de passes do laminador desbastador.

A Figura 9, esboça em poucos detalhes o fluxo da informação para a parametrização e controle da lógica do SKI. O cliente nível-2 é a estação de supervisão onde o operador pode aplicar os valores desejados para atuação do SKI e também habilitar ou não seu funcionamento, estes acessos estão disponíveis na tela conforme exibido na Figura . Ao clicar no botão “OK” da tela, o sistema supervisor, “ACE-HMI”, por meio de seu link TCP/IP interno envia as variáveis e comando para a tarefa “HMI-RCV” que é responsável por transmitir as informações para o servidor e também receber dados do mesmo.

Dentre as tarefas executadas no servidor, existem a “OPI_RCV”, “OPI_XME” e “OPI_XMC”, que são responsáveis em gerenciar as comunicações com os clientes Nível-2. Ao receber os parâmetros de SKI do cliente, a tarefa “OPI_RCV” os escreve na memória compartilhada do sistema denominada “GBC_L2_CMN”, espaço de memória alocado para armazenamento de dados relativos a variáveis da planta e que tem acesso disponível a todas as tarefas do servidor por meio de chamadas de função de leitura e escrita.

Entre as informações escritas na “GBC_L2_CMN”, a “OPI_RCV” também escreve o comando de gatilho para a “DWN”, tarefa esta que lê os valores das variáveis da GBC e estrutura a mensagem TCP contendo os parâmetros do SKI. A mensagem já estruturada é enviada a tarefa “L1C” por meio do canal de comunicação do sistema operacional OpenVMS denominado mailbox, ao receber estes dados a L1C completa a mensagem conforme o drive de comunicação e a envia ao SDCD que controla o SKI.

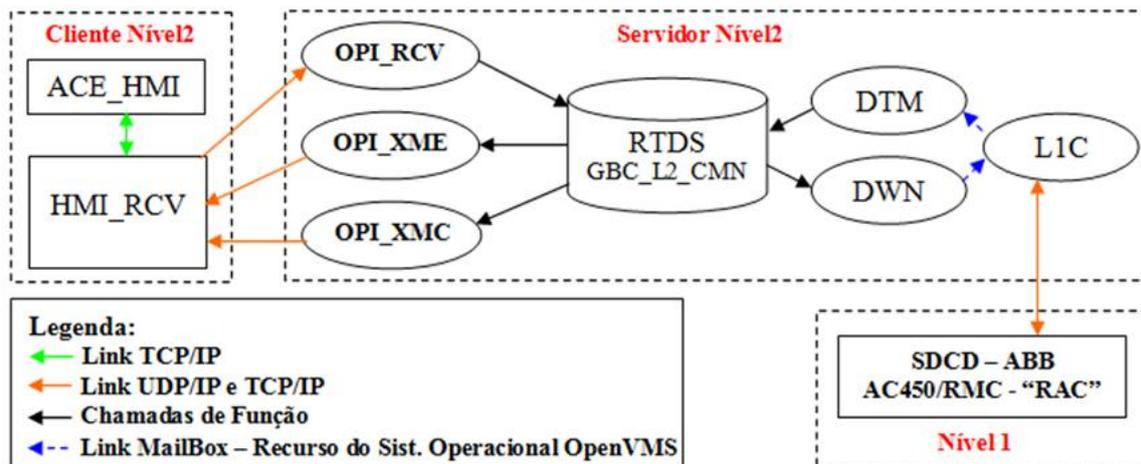


Figura 9 – Fluxo da Informação de parametrização do SKI.

O SDCD que controla o SKI, retorna os valores aplicados no equipamento, para o servidor de nível 2, onde a mensagem é processada pela "L1C", enviada para a tarefa "DTM" que a quebra e escreve na memória "GBC_L2_CMN", de onde a tarefa "OPI_XME" lê e envia em mensagem UDP para atualização das telas de todos os clientes.

4.5 A Influência do Grau de Deformação

Estudos constataram que a ação combinada da diferença de velocidade com o grau de penetração da deformação pode alterar a intensidade e até mesmo o sentido do encurvamento.⁽¹⁾ O grau de penetração da deformação, m , é definido em função do comprimento do arco de contato, das espessuras de entrada e saída e do raio do cilindro de trabalho. O fator m é uma medida da heterogeneidade da deformação nas camadas centrais do material laminado e é definido como:

$$m = \frac{l_d}{h_m} \quad \text{sendo que,} \quad l_d = \sqrt{R(h_0 - h_1)} \quad \text{e} \quad h_m = \frac{h_1 + 2h_0}{3}$$

Onde:

- l_d : Comprimento do arco de contato [mm];
- h_m : Espessura média ponderada [mm];
- h_0 : Espessura do material na entrada do laminador [mm];
- h_1 : Espessura do material na saída do laminador [mm];
- R : Raio do cilindro de trabalho [mm].

A Figura 10 nos mostra as alterações na curvatura das pontas em função do grau de deformação, considerando diferentes deltas de velocidade. Nota-se que ocorre a inversão do sentido do encurvamento a partir do momento em que o grau de deformação atinge aproximadamente 1,4. Tais valores foram obtidos em um laminador de chapas grossas.

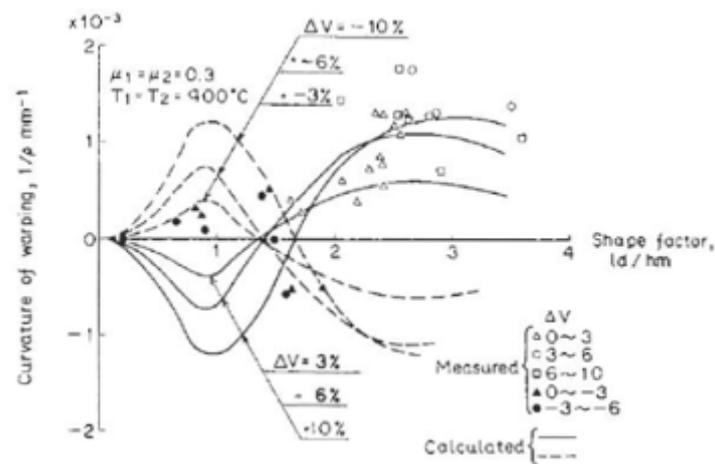


Figura 10 – Valores de curvatura obtidos de um laminador desbastador.⁽¹⁾

O uso do controle de pontas nos permite evitar que as pontas do esboço se curvem para cima ou para baixo. Porém, ao se laminar com um grau de penetração acima de um determinado valor o ajuste torna-se complexo aos olhos dos operadores, pois se entra na região de inversão da direção de encurvamento. Assim, os operadores acabam por realizar ajustes que resultam em efeitos contrários aos esperados.

5 CONCLUSÃO

O controle de pontas demonstrou ser uma excelente ferramenta na laminação de desbaste na LTQ da APERAM. A confiança dos operadores na ferramenta é indiscutível e a minimização dos problemas decorrentes do encurvamento das pontas do esboço é um fato.

Em 2007 e 2008 os custos de sucateamento e de perda por hora parada na LTQ somaram mais de 1 milhão de reais. Em 2009, ano em que o projeto teve sua utilização difundida, estes custos somaram aproximadamente 139 mil reais, uma redução de mais de 87%. Importante ressaltar que desde julho de 2009 não houve sucatas pelo motivo ponta alta/ou baixa.

6 RESULTADOS

Antes de se utilizar o controle de pontas nos aços inoxidáveis foi realizado um teste em aços carbono. A qualidade superficial nos aços inoxidáveis é uma característica muito controlada e o risco seria ocorrer alguma marca no cilindro que marcasse o produto.

O primeiro teste foi realizado em seis placas de aço baixo carbono de espessura final 6,3 mm em setembro de 2008. O objetivo do teste era provocar ponta alta no material para validar o funcionamento do controle de pontas.

A Tabela 1 mostra os ajustes utilizados e os resultados obtidos. A primeira placa foi utilizada como referência para se ter conhecimento de como o material estava se comportando para comparação com o material do teste.

Tabela 1 – Resultado do primeiro teste com aços carbono

UM	Nr passe	Sobrevelocidade	Comprimento (mm)	Resultado
813759H03	5	0	0	ponta baixa leve
	6	0	0	ponta alta leve
	7	0	0	plano
813759H08	5	10%	1000	ponta alta média
	6	10%	1000	nada
805776B02	5	20%	1000	ponta alta
	6	20%	1000	nada
805776B03	5	20%	1000	ponta alta
	6	30%	1000	nada
805776B08	5	0%	1000	plano
	6	50%	1000	nada
805776B01	5	20%	1000	ponta alta
	6	100%	1000	nada
813757B09	4	50%	2000	ponta alta
	5	-10%	1000	ponta baixa leve
	6	100%	2000	nada

O teste foi realizado com sucesso, comprovando a eficácia do controle de pontas no laminador desbastador. Observa-se, portanto, que não se obteve resultado no sexto passe.

O cilindro de trabalho foi inspecionado e não foram observadas marcas resultantes da utilização do controle de pontas.

Após este teste foi realizado o treinamento dos operadores para utilização do controle de pontas.

O próximo passo foi realizar um teste nos aços inoxidáveis austeníticos 3XX, em novembro de 2008. O teste foi realizado em cinco placas. Os resultados são apresentados na Tabela 2, sendo que a primeira placa, assim como no primeiro teste, foi utilizada como referência.

Desta vez, porém, testou-se o ajuste invertido no sexto passe, confirmando a teoria do grau de deformação. Ao se utilizar a demanda de ponta baixa, o material apresentou ponta alta.

Este teste possibilitou aos implementadores, operadores e supervisores adquirirem maior sensibilidade no uso da ferramenta. As bobinas do teste foram todas aprovadas na laminação a frio, ou seja, não houve desvios relacionados com a utilização do controle de pontas.

Tabela 2 – Resultado do segundo teste com aços inoxidáveis

UM	Nr passe	Sobrevelocidade	Comprimento (mm)	Resultado
807327B02	1,3,5	0	0	ponta baixa leve
	6	0	0	ponta alta leve
	7	0	0	Plano
843961D02	5	10%	1000	ponta alta
	6	10%	1000	Nada
843961D03	5	10%	500	ponta alta (inferior anterior)
	6	-10%	1000	ponta alta !!
807324I02	1	10%	200	manteve ponta baixa leve
	3	10%	200	ponta alta leve
	5	-10%	200	ponta baixa leve
	6	10%	1000	ponta baixa leve
807324I09	1	10%	500	ponta baixa leve
	3	10%	500	"S"
	5	10%	250	"S" plana
	6	10%	500	ponta baixa leve
807337A09	1	10%	1000	corrigiu ponta baixa
	3	10%	1000	"S"
	4	10%	1000	ponta alta
	5	10%	250	"S" plana
	6	10%	500	ponta baixa leve

O próximo passo seria utilizar o controle de pontas na ocorrência de ponta alta, porém, após este teste, se passou um longo período sem a ocorrência de ponta alta nos aços 3XX.

A partir de junho de 2009, com o aumento da produção, a ocorrência de ponta alta se tornou mais freqüente e os operadores começaram a demandar uma maior utilização do controle de pontas, inclusive para outros aços, como os aços elétricos de grão não-orientado (GNO).

Nestes aços a ocorrência de ponta alta exige que se corte a descarepação nas pontas. A ponta alta faz com que a água de descarepação se acumule nas pontas provocando um resfriamento localizado que causa problemas no corte da cabeça na tesoura de pontas. Além disso, a descarepação nestes aços é um item crítico, pois a carepa formada é de difícil remoção. A utilização do controle de pontas possibilita a utilização da descarepação ao longo de todo o comprimento do esboço.

O projeto teve também, além dos ganhos operacionais, alguns ganhos financeiros.

Em 2007 os custos de sucateamento por motivo ponta alta/baixa somados aos custos de hora parada da LTQ totalizaram 582 mil reais. Em 2008 estes custos totalizaram 521 mil reais. Em 2009, ano que o projeto teve sua utilização difundida, estes custos não passaram de 138 mil reais (Figura 11). Vale ressaltar, que desde julho de 2009 não há registros de sucatas pelo motivo ponta alta/baixa.

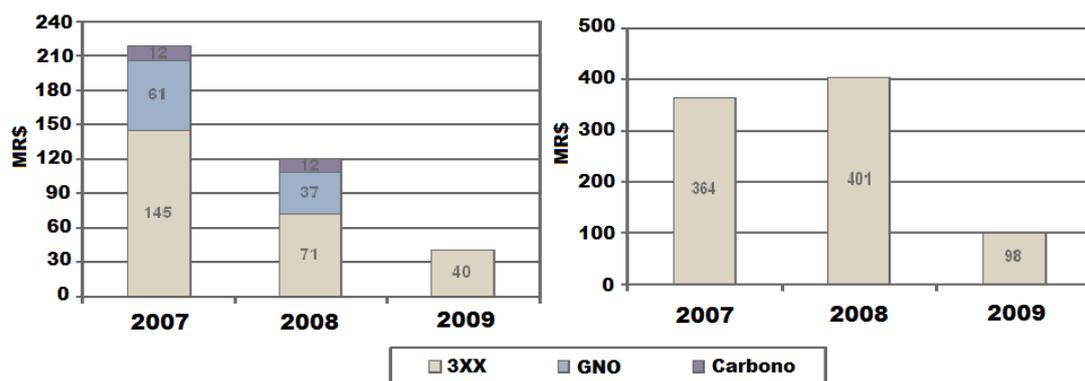


Figura 11– a) Custo do sucateamento em valores de 2009. b) Custo de horas paradas em valores de 2009.

REFERÊNCIAS

- 1 GORNI, A.A.; CAVALCANTI, C. G.; DOLABELA DA SILVEIRA, J. H.; STUART, M. A.; REIS, J. S. S. Estudo sobre as causas da ocorrência de ponta alta num laminador de chapas grossas. Trabalho apresentado no Seminário de Laminação da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Porto Alegre, Novembro de 1992.
- 2 DAUPHIN, S.; CORDIER, Ph.; BOUTOILLE, P.; COLIN, C.; COUPU, J.; PETIT, B. Industrial ski-end mastering at Arcelor Dunkirk roughing mill.
- 3 SEGORG, D. E.; EDGAR, T. F.; MELLICHAMP, D. A. Process Dynamics and Control. Singapore: Ed. John Wiley & Sons, Inc, 1989.