

DEFINIÇÃO DE REFERÊNCIAS DE BENDING E CVC PARA LAMINADOR A FRIO DE CHAPAS DE AÇO DE QUATRO CADEIRAS¹

Daniilo Gonçalves de Oliveira²
 Sérgio dos Santos Rocha³
 Luciano Colzani⁴

Resumo

As recentes mudanças no comportamento do mercado mundial do aço resultaram em um aumento constante das exigências de qualidade dos clientes da indústria siderúrgica. Para avaliação da qualidade do material, bons resultados não são suficientes. É necessário que haja estabilidade nesses resultados para reduzir variações no produto final e número de setups em linhas de produção. O uso de controles manuais permite variabilidade e diferenças de resultado entre as equipes de produção, prejudicando a competitividade da empresa frente à concorrência para os clientes. Esse trabalho teve como objetivo uniformizar a aplicação dos controles de planicidade Bending e CVC no Laminador de Tiras a Frio de 4 Cadeiras da ArcelorMittal Vega visando a redução da dispersão nos resultados de qualidade entre as equipes de produção. Para tanto, foi realizada avaliação desses controles com o uso de ferramentas estatísticas e através de engenharia reversa do Modelo Matemático já disponível e integrado ao sistema de automação.

Palavras-chave: Modelo matemático; Presets; Bending; CVC; Planicidade; Laminador de tiras a frio.

DEFINITION OF BENDING AND CVC SET-POINTS FOR 4-HIGH TANDEM COLD STRIP MILL

Abstract

The recent changes in the behavior of steel market around the globe have resulted in a constant increase on quality requirements by the steel industry customers. In order to evaluate material quality good results are not sufficient. It's also necessary to have stability which will lead to less variation in the final product and setups at production lines. The usage of manual control methods allows variability and differences in the final result among production teams, affecting the competitiveness of the company. This research had as objective to uniform the application of Bending and CVC flatness controllers at ArcelorMittal Vega's 4-High Tandem Cold Mill resulting in reduction of quality results variability among production teams. In order to do an evaluation of these controllers has been carried out using statistical tools and throughout reverse engineering of the black box Mathematical Model currently available.

Key words: Mathematical model; Presets; Bending; CVC; Flatness; Tandem cold mill.

¹ Contribuição técnica ao 49º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 22 a 25 de outubro de 2012, Vila Velha, ES, Brasil.

² Eng Eletricista. Especialista de Processo de Produção. ArcelorMittal Vega. São Francisco do Sul.

³ Eng Metalúrgico. Gerente de Confiabilidade IVL. ArcelorMittal Vega. São Francisco do Sul.

⁴ Eng Eletricista. Gerente de Produção IVL. ArcelorMittal Vega. São Francisco do Sul.

1 INTRODUÇÃO

A planicidade das chapas de aço laminadas a frio é um dos principais requisitos dos clientes desse produto.

O controle puramente manual de qualquer tipo de variável no processo permite discrepâncias significativas no resultado final de qualidade do material além de introduzir variações e dificultar o seu processamento nas linhas seguintes.

A definição do setup de laminação (ou *presets*) depende fortemente de modelos matemáticos complexos para evitar ao máximo as correções das malhas de controles e atuação dos operadores possibilitando a diminuição das perdas de qualidade e variações de processo durante as mudanças de materiais. Esses modelos são munidos, frequentemente, de algoritmos de adaptação que alteram ganhos de forma a mantê-los o mais próximo possível das condições reais de processamento e reduzir o efeito de simplificações e aproximações utilizadas na representação matemática do processo.

No entanto a modelagem do efeito do CVC (variação contínua de planicidade, na sigla em inglês) na planicidade das chapas de aço laminadas a frio é relativamente recente e a sua aplicação em laminadores reais está restrita a poucos exemplos ao redor do mundo.⁽¹⁾

No Grupo ArcelorMittal, apenas o Laminador de Tiras a Frio da AM Vega (LTF) possui essa tecnologia e, dessa forma, o know-how na modelagem do CVC ainda não está completamente estabelecido.

Os resultados desse trabalho estão contribuindo para a criação desse know-how dentro do maior grupo siderúrgico do mundo e serão de grande importância para os próximos projetos de instalação de laminadores de tiras a frio.

2 ATUADORES DE PLANICIDADE E A TECNOLOGIA CVC

O controle de planicidade das chapas de aço laminadas a frio é realizado, normalmente, através de três atuadores:

1 – Nivelamento (*Tilting*): o Nivelamento permite a alteração do aperto dos cilindros de trabalho em um dos seus lados apenas, reduzindo os erros de planicidade de primeira ordem.

2 – Flexão (*Bending*): A flexão dos cilindros de trabalho através da movimentação vertical dos seus mancais de forma simétrica tem influência nos erros de segunda e quarta ordem da planicidade da chapa.

3 – Refrigeração Seletiva: a aplicação de refrigeração em pontos específicos do cilindro de trabalho permite a correção de erros pontuais de planicidade e não tem ordem polinomial definida.

Já o Laminador de Tiras a Frio da ArcelorMittal Vega tem instalado em todas as quatro cadeiras quadro do trem a tecnologia CVC.

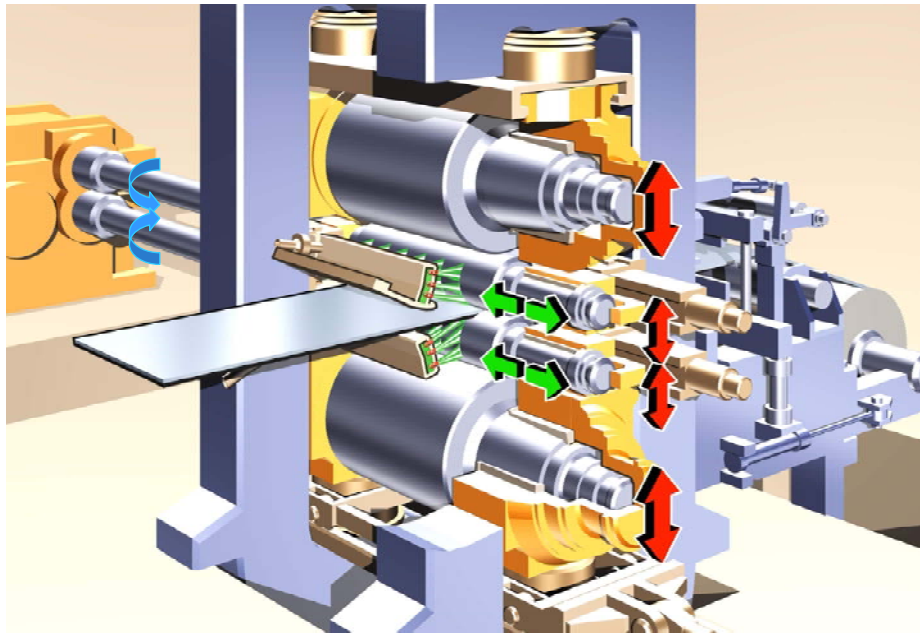


Figura 1: Atuadores de planicidade do LTF da ArcelorMittal Vega: Bending, CVC, Nivelamento e Refrigeração Seletiva.⁽²⁾

A tecnologia consiste em retificar os cilindros de trabalho com uma curva em “S”, sendo no caso da AMV um polinômio de terceiro grau. A interação da curva do cilindro superior com o inferior, aliado ao movimento axial dos cilindros em sentidos opostos feita de forma contínua durante todo o processo de laminação, tem como resultado a aplicação na chapa de uma coroa de segunda ordem variável. Dessa forma, a coroa mecânica resultante aplicada à chapa pode ser dinamicamente alterada durante todo o processo de laminação.

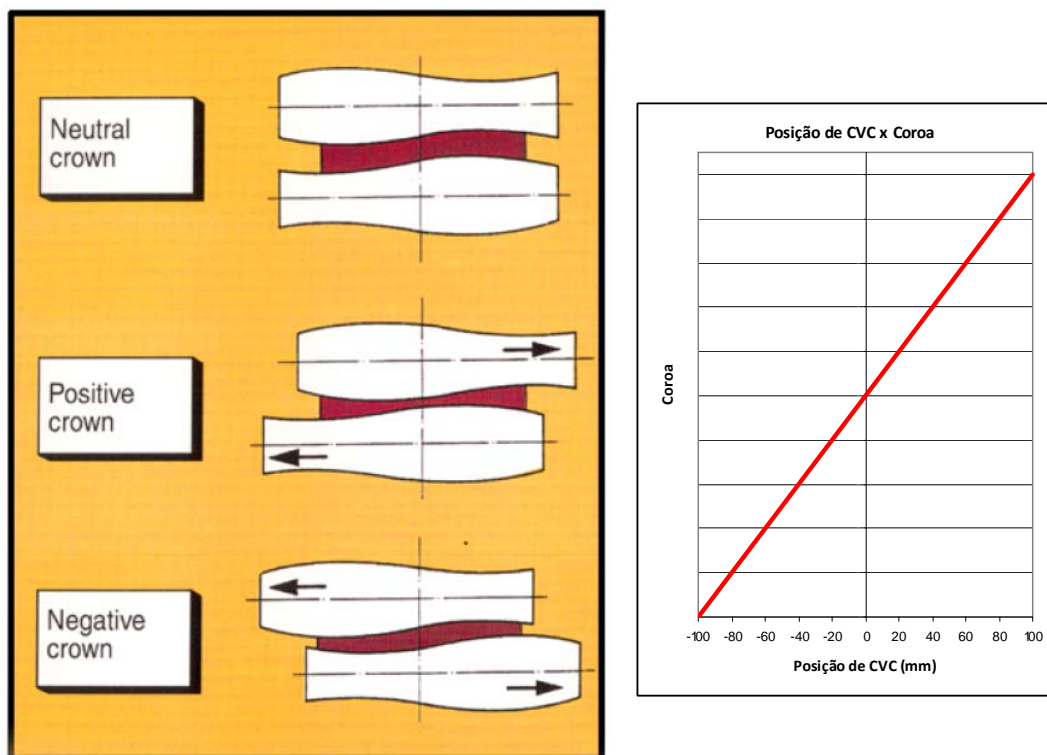


Figura 2: Movimentação do CVC e efeito na chapa; Posição de CVC x Coroa aparente do cilindro de trabalho.⁽²⁾

A atuação do posicionamento do CVC permite a redução de erros de planicidade de segunda ordem e quarta ordem, como o Bending, porém com influência significativamente maior na parcela de segunda ordem.

Além do controle contínuo da coroa mecânica aplicada à chapa, a tecnologia CVC traz benefícios enormes na redução do estoque de cilindros de trabalho, uma vez que não existe cilindro de perfil específico para qualquer material, além de permitir grande flexibilidade na programação das sequencias de laminação, propiciando o processamento de chapas largas e estreitas, de alto e baixo limites de escoamentos sem a troca dos cilindro de laminação.

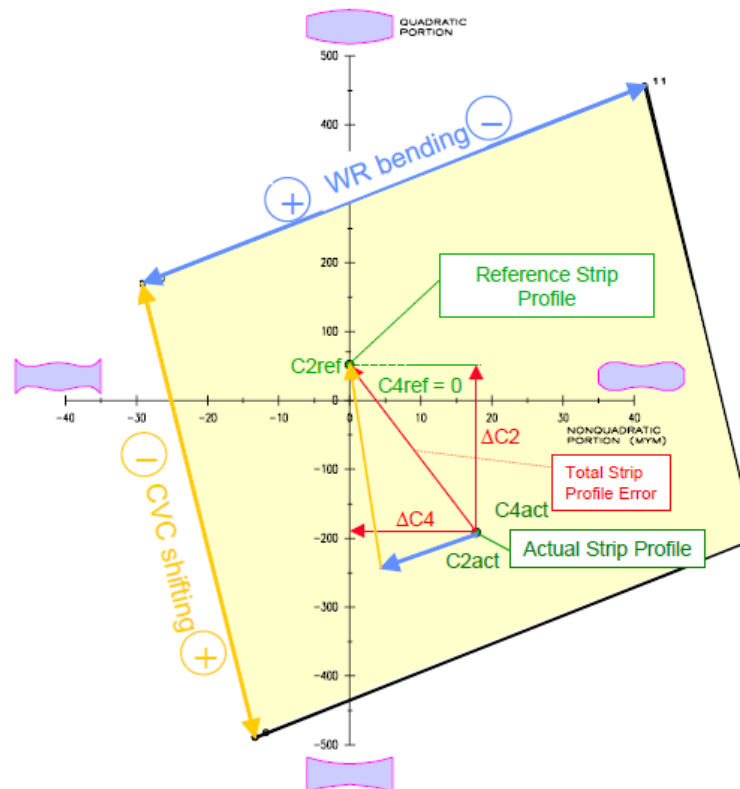


Figura 3: Ilustração do efeito da atuação de Bending e CVC na planicidade da chapa.⁽²⁾

3 CONTEXTO

O LTF, por ser uma linha plenamente contínua atualmente, permite a passagem de soldas, mudanças de dimensões e graus de aço a velocidades superiores a 250 mpm. Durante a passagem da solda, a aplicação em manual dos controles de planicidade é extremamente complicada e de difícil realização pelos Operadores.

A aplicação em manual permite, ainda, discrepâncias significativas entre turnos de operação e até mesmo entre Operadores num mesmo turno, o que leva ao aumento da variabilidade dos resultados de qualidade dos materiais laminados a frio.

A existência de rolo medidor de planicidade apenas na saída da Cadeira 4, permitindo o controle de planicidade automático somente nessa cadeira do LTF, eleva ainda mais as responsabilidades do Operador no controle de planicidade nas demais cadeiras.

Adicionalmente, a análise do defeito de qualidade Ondulação de Bordas comprovou que o posicionamento do Bending e CVC das cadeiras 1, 2 e 3 apresentam relação direta com as ocorrências do defeito.

Diante do exposto, iniciou-se o estudo para definição dos presets de planicidade das Cadeiras 1, 2 e 3. A Cadeira 4, munida de medição de planicidade e controlador automático, deverá permanecer dependente dos resultados desse controle.

Para a definição dos presets de planicidade das Cadeiras 1, 2 e 3, foram levantadas três possibilidades:

1. Utilização do modelo matemático fechado (caixa-preta) disponibilizado pelo fornecedor da automação do LTF da AM Vega (Modelo TCM3000);
2. Criação de modelo baseado em redes neurais;
3. Adaptação do modelo matemático de Bending desenvolvido pelo Grupo ArcelorMittal para cálculo de CVC (Modelo TEC3).

A criação de modelo baseado em redes neurais depende da criação de uma base de dados sólida para o treinamento da rede neural e outra para a verificação do aprendizado da rede. Alterações significativas no mix de produção, variações no processo de laminação a quente dentre outras podem levar rapidamente, dependendo da complexidade do processo, à necessidade de realização de novos treinamentos para manutenção do modelo. Além disso, o uso desse tipo de abordagem apresentaria a dificuldade de utilização do mesmo para o cálculo de sensibilidades necessárias para o controle da chapa durante a laminação e, principalmente, da dificuldade para integração do mesmo ao atual sistema de automação em uso no LTF da AM Vega.

Já a adaptação do modelo TEC3 para cálculo de CVC tem como principal ponto positivo o know-how na criação do modelo físico da interação de Bending e CVC em laminadores a frio no Grupo ArcelorMittal. Porém a implantação desse modelo apresenta o mesmo problema de integração com o sistema de automação disponível.

A aplicação dos presets de Bending e CVC através do TCM3000 seria facilitada uma vez que o mesmo já está completamente integrado ao sistema de automação existente. Além disso, o modelo possui um algoritmo de adaptação de longo e curto prazos para reduzir as discrepâncias entre o modelo e as variações de processo. Entretanto o TCM3000, por ser um modelo fechado e com poucos parâmetros de comissionamento disponibilizados para o usuário e pela ausência de documentação sobre o mesmo, demandariam estudos para seu correto entendimento e utilização.

Ponderando todos os pontos mencionados, foi decidido por priorizar o estudo do TCM3000, foco deste trabalho, e a utilização do mesmo no curto prazo e, posteriormente, pelo desenvolvimento do TEC3 para cálculo de CVC no longo prazo.

4 DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento do trabalho se deu em duas etapas, realizadas em paralelo. A primeira etapa consistiu em definir os presets de planicidade para cada material processado pelo LTF da ArcelorMittal Vega. Já a segunda etapa foi a realização do estudo para entendimento do princípio de funcionamento do TCM3000 que permitisse a aplicação dos presets definidos na primeira etapa.

4.1 Definição de *Presets* de Planicidade

Para a definição dos *presets* de planicidade, foram analisados, inicialmente, os resultados de qualidade das bobinas processadas pelo LTF em um período de 18 meses e, posteriormente, selecionado um período de três meses com o menor volume de material desclassificado por problemas relacionados a planicidade.

Em análise dos resultados de qualidade das bobinas processadas neste período de 3 meses através da metodologia Six Sigmas,⁽³⁾ foi verificado que duas equipes de Operação apresentavam menores índices de material desclassificado.

Quando comparados os valores aplicados de Bending e CVC por essas duas equipes de Operação com as demais, foi verificado que as duas primeiras aplicavam esses controladores de forma mais previsível, ou seja, com pequenas diferenças nesses parâmetros para bobinas de materiais e dimensões semelhantes processadas em diferentes momentos no tempo.

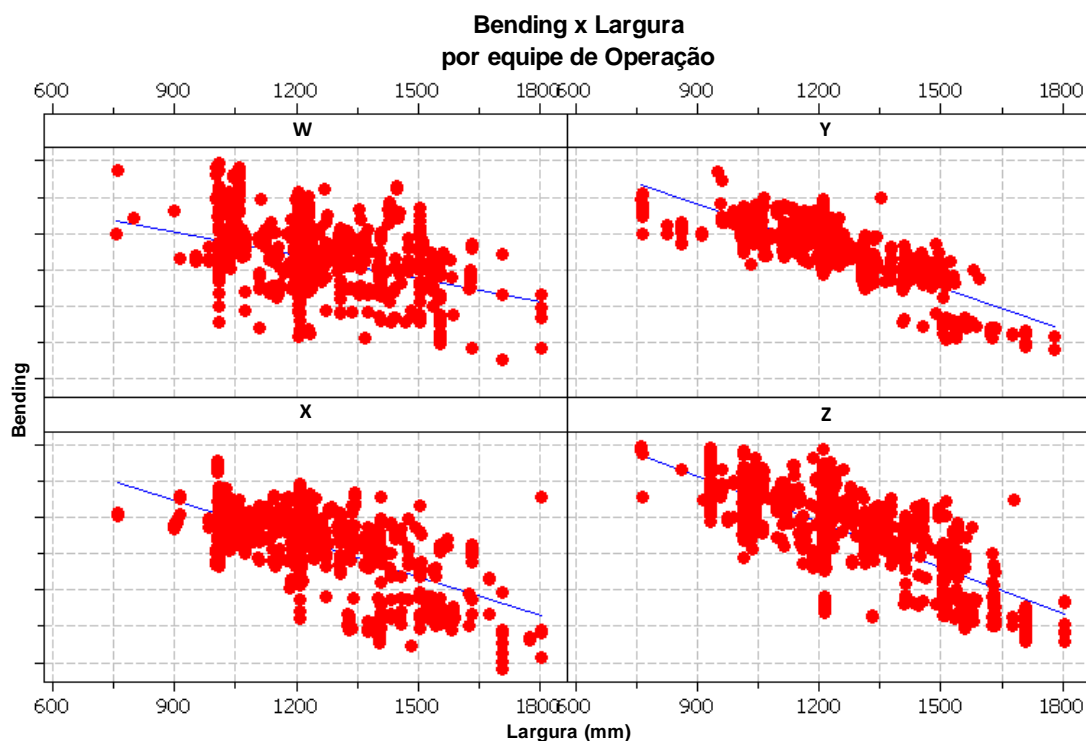


Figura 4: Aplicação de Bending da Cadeira 1 x Largura [mm] por equipe de produção em grau de aço específico.

Com isso, foi criado um modelo estatístico com regressão de primeira ordem para determinação dos *presets* de Bending e CVC com base nos parâmetros utilizados por essas duas equipes de Operação para cada grau de aço processado no LTF da ArcelorMittal Vega.

Esse modelo estatístico indica, então, qual o valor de Bending e CVC a ser calculado pelo TCM3000 para cada bobina já processada. Com isso é possível realizar uma comparação entre modelos e verificar os pontos a serem corrigidos no TCM3000.

4.2 Adequação do TCM3000

O cálculo dos presets de planicidade através do TCM3000 é realizado com base em parâmetros definidos pelos Especialistas denominados Nominais. Esses são divididos por tipo de material (grau de aço), faixa de redução e largura.

O TCM3000 permite a divisão dos graus de aço em até 5 faixas de redução e 3 faixas de largura. Os materiais processados na ArcelorMittal Vega têm larguras variando de 750mm a 1850mm e reduções que vão de 55% a 80%.

Os parâmetros Nominais até então utilizados eram os mesmos definidos durante o comissionamento da linha em 2004. Não foram realizadas quaisquer alterações nos Nominais ao longo dos anos devido ausência de documentação sobre o TCM3000 em modelo de planicidade.

Como resultado, os cálculos dos presets de Bending e CVC realizados pelo TCM3000 ficavam, frequentemente, muito destoantes dos valores aplicados pelos Técnicos de Operação, apesar da existência de um algoritmo de adaptação em funcionamento.

Diante da inexistência de documentação sobre o TCM3000 para o cálculo de presets de planicidade, foi necessário realizar estudo visando identificar a melhor forma de adequação dos Nominais para aprimoramento dos cálculos dos presets de planicidade.

Diversas simulações foram realizadas no Modelo com a alteração dos parâmetros de entrada e verificação dos resultados dos cálculos de presets. Com essa análise foi possível determinar a influência dos Nominais nos cálculos do TCM3000 e identificar as alterações necessárias em cada grau de aço e faixas dimensionais.

Com base no entendimento do funcionamento do TCM3000, foi necessária a adequação do mesmo para que os presets calculados estivessem em concordância com o modelo estatístico baseado no aplicado pelos Técnicos de Operação.

Para tanto, foi realizado cálculo reverso dos Nominais visando os valores calculados pelo modelo estatístico. Dessa forma foi possível obter os Nominais necessários para que o TCM3000 calculasse presets que estivessem de acordo com o modelo estatístico.

5 RESULTADOS

Para a verificação da eficácia da metodologia adotada na condução do trabalho, os valores Nominais para cada grau de aço e faixas de largura e espessura foram alterados no TCM3000.

Os cálculos realizados pelo Modelo Matemático foram comparados com os valores aplicados pelos Técnicos de Operação utilizados como base para a determinação do modelo estatístico por um período superior a 3 meses.

O resultado dessa comparação mostrou que os novos presets calculados pelo TCM3000 estavam muito mais próximos dos valores aplicados pelos Técnicos de Operação.

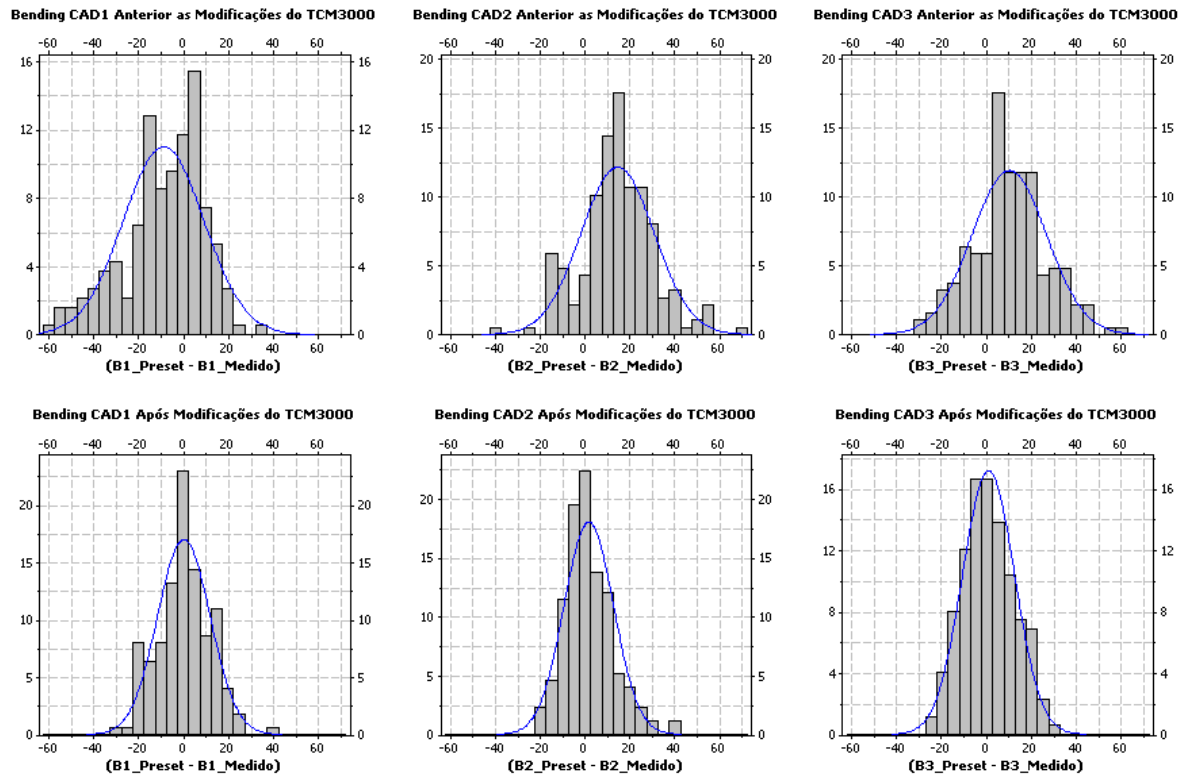


Figura 5: Comparação entre a diferença de Bending [Tons] calculado pelo TCM3000 e aplicado pelos Operadores antes e após as modificações dos Nominais.

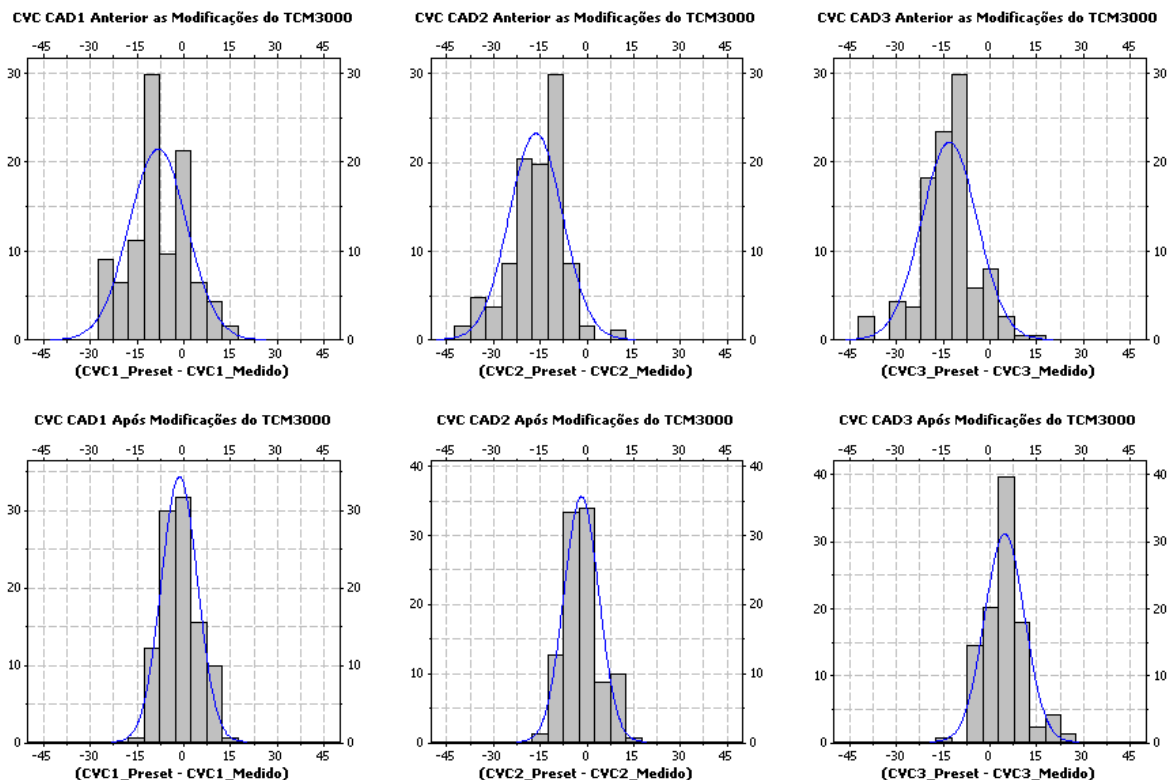


Figura 6: Comparação entre a diferença de CVC [mm] calculado pelo TCM3000 e aplicado pelos Operadores antes e após as modificações dos Nominais no TCM3000

Apesar do aprimoramento dos cálculos realizados pelo TCM3000 a aplicação dos presets de planicidade ainda não está sendo realizada de forma automática. A razão para isso está em decisão técnica por não realizar alterações no sistema de

controle do LTF no curto prazo devido aumento significativo na demanda de produção e os riscos envolvidos com essas alterações.

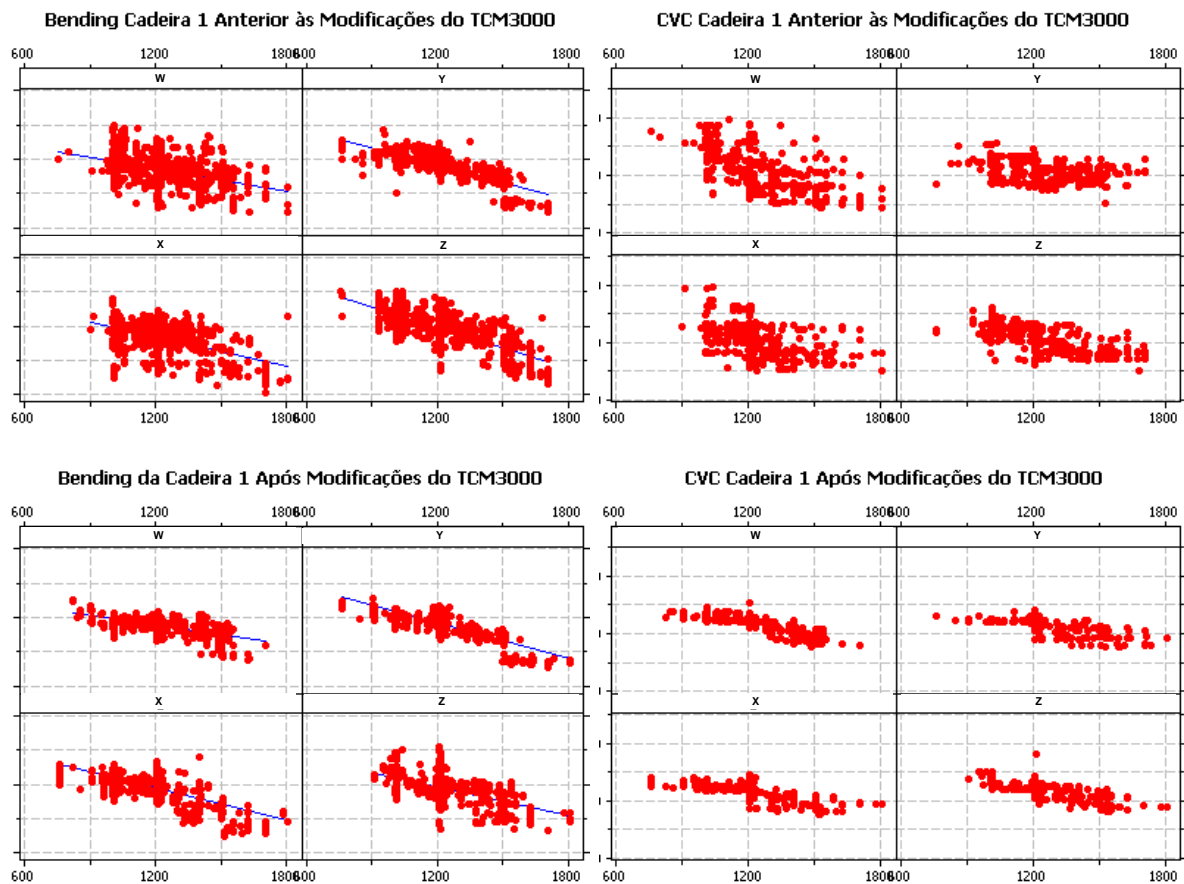


Figura 7: Bending e CVC x Largura [mm] antes e depois das alterações do TCM3000 mostram maior hegemonia entre as equipes de Operação.

Mesmo com a permanência da aplicação manual dos presets até o momento, já foram observadas melhoras nos resultados da planicidade do material laminado a frio. Isso está relacionado com o fato dos Técnicos de Operação estarem baseando a aplicação em manual nos valores calculados pelo TCM3000 disponibilizados para os mesmos antes da passagem da solda. Houve, dessa forma, uma maior hegemonia na aplicação de Bending e CVC entre equipes de Operação que refletiu na planicidade medida na saída do LTF.

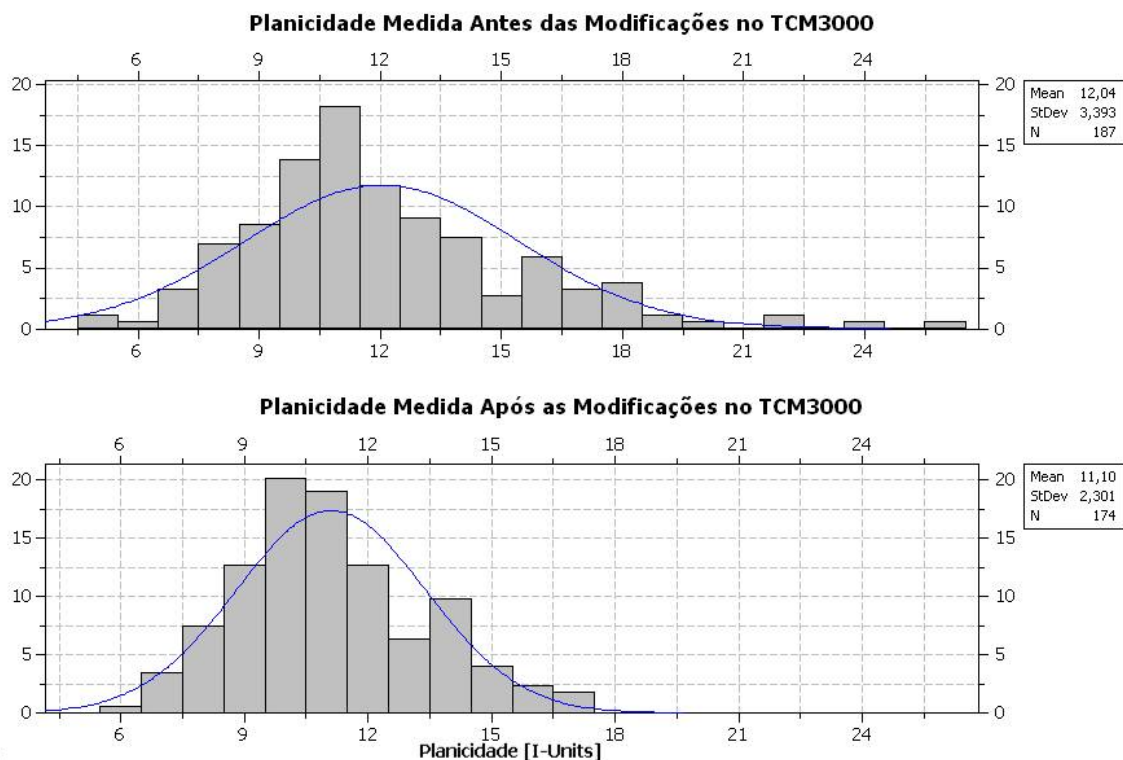


Figura 8: Comparação entre planicidade medida [I-Units] em aço acalmado a alumínio de 1.500 mm de largura por 0,60mm de espessura antes e após modificações no TCM3000.

6 CONCLUSÕES

O entendimento da influência das diversas variáveis do processo na aplicação dos presets de Bending e CVC para o alcance de melhores resultados de planicidade permitiu alterar os parâmetros necessários no Modelo Matemático TCM3000 de forma direcionada.

O aprimoramento do cálculo dos presets de Bending e CVC pelo TCM3000 permitiu maior hegemonia na atuação em manual desses controladores realizada pelas equipes de Operação. Apesar da aplicação dos presets não ser realizada de forma automática, a disponibilização dessa informação já permitiu melhorar os resultados de planicidade medidos na Saída do Laminador de Tiras a Frio da ArcelorMittal Vega reduzindo de forma significativa a variabilidade desse requisito de qualidade.

Os resultados obtidos até o momento com a condução deste trabalho, quando aplicados ao modelo desenvolvido internamente pelo Grupo ArcelorMittal para o cálculo de Bending, permitirão a modelagem matemática da influência do controle de CVC na planicidade dos aços laminados a frio.

REFERENCIAS

- 1 LEGRAND, Nicolas. "Development and commissioning at ArcelorMittal Mardyck's of an Automatic Flatness Control system for cold rolling mills" Presented at ArcelorMittal R&D steering comity Cold rolling – December 02nd 2009.
- 2 CVC-HS Four Stand Tandem Cold Rolling Mill VEGA-TCM (Brasilien) – SMS ref. N°550 79 000
- 3 ROTONDARO, Roberto G. "Seis Sigma - Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços". São Paulo: Atlas, 1ª Edição 2002