

MELHORIA DE PLANICIDADE DE TIRAS LAMINADAS A QUENTE DA ARCELORMITTAL TUBARÃO ¹

Gleyson Marcos Barbosa²

Júlio Cezar Bellor²

Francisco Coutinho Dornelas³

Jefferson Pereira⁴

Cristina Maria Oliveira Lima Roque⁴

Márcio Silva Rabbi⁵

Resumo

Nos últimos anos a produção de bobinas de aços laminados a quente tem sido desafiada pelo mercado, que tem buscado estender a aplicação de seus produtos para segmentos diversificados, outrora atendidos por laminados a frio e chapas grossas. No caso da ArcelorMittal Tubarão, bobinas com espessuras de 1,20 a 19,00 mm têm sido oferecidas ao mercado para aplicações que demandam alta performance de planicidade, em especial a aplicação de “corte em chapas”. Para sustentação deste cenário, o corpo técnico da ArcelorMittal realizou uma série de ações no Trem Acabador e na Mesa de Resfriamento, obtendo um expressivo avanço na melhoria da planicidade observada antes, durante e após a aplicação final de seus produtos. A eficácia das ações tomadas foi comprovada através da evolução favorável de indicadores baseados em medições internas de parâmetros associados à planicidade e através do aumento do nível de satisfação de clientes. Dessa forma foi consolidado mais um representativo passo em direção a melhoria contínua de produtos e processo no LTQ da ArcelorMittal Tubarão.

Palavras-chave: Planicidade; Laminação de tiras a quente; *Laminar flow*.

FLATNESS IMPROVEMENT OF HOT ROLLED STRIP AT ARCELORMITTAL TUBARÃO

Abstracts

In the recent years the hot coils production had been challenged by the market, which looks forward to extend the use of hot coils in segments which is used to be supplied with cold strips and plates. In the case of ArcelorMittal Tubarão, hot bands with thickness between 1.20 and 19.00 mm have been offered to the market to be used in application where flatness is highly required, as for sheet and plates production. To support this scenario, the technical staff has made a lot of interventions not only in the finishing mill but also in the run out table, reaching an expressive improvement on the flatness observed before, during and after the final applications. The effectiveness of the actions was validated by the decrease of the waviness height and by the increase of the customer satisfaction level. So, in this way, one more expressive step was given forward the continuous improvement of ArcelorMittal Tubarão's product and process.

Key words: Flatness; Hot strip mill; Laminar flow.

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

² Engenheiro Metalurgista, MSc, Especialista em LTQ da ArcelorMittal Tubarão, Vitória, ES

³ Engenheiro Metalurgista, Gerente do Controle de Processo de Produção de Placas e Bobinas da ArcelorMittal Tubarão, Vitória, ES

⁴ Engenheiro Mecânico, MSc, Especialista em Automação da ArcelorMittal Tubarão, Vitória, ES

⁵ Engenheiro Metalurgista, MSc, Especialista em Desenvolvimento de Produto da ArcelorMittal Tubarão, Vitória, ES

1 INTRODUÇÃO

Os requisitos dimensionais e de forma de bobinas laminadas a quente estão cada vez mais desafiadores em função de exigência de mercado, que tem destinado esses produtos para aplicações onde se exigem espessuras finas (em segmentos ora atendido por bobinas laminadas a frio) e, em outro extremo, espessuras espessas (segmentos ora atendido por chapas grossas). O processamento de laminados a quente é ainda mais demandado devido à busca de bobinas cada vez mais largas, no intuito de aumentar a produtividade na aplicação final.

Um requisito muito solicitado e de alta complexidade para laminados a quente é a planicidade, ou seja, a capacidade do material de se apresentar plano. Esta propriedade tem sido objeto de constantes estudos e desenvolvimentos na ArcelorMittal Tubarão^(1,2) sempre motivada pela busca de oferta de produtos diferenciados no mercado, com bom desempenho de planicidade antes, durante e após aplicações críticas, tal como o corte em chapas.

A tendência do mercado em consumir materiais finos e largos cria um cenário bastante desafiador para os laminadores. A relação largura/espessura do produto laminado a quente é um indicador usado para mostrar a dificuldade em se obter produtos perfeitamente planos. Como a força necessária para ondular é diretamente proporcional ao cubo da espessura,⁽³⁾ materiais mais finos são mais vulneráveis à problemas de planicidade, visto que necessitam de menor força para ondular. Materiais mais espessos requerem maior nível de tensão interna para vencer a força mínima de ondulação, daí um dos motivos do melhor desempenho de planicidade enquanto na forma de bobina ou chapas. Entretanto, materiais espessos com alto nível de tensões internas estão sujeitos a apresentarem empenos durante o corte em blanks.

Geralmente os defeitos de forma de bobinas laminadas a quente são observados quando as mesmas são desbobinadas. Frequentemente, os desvios de planicidade são associados, já de imediato, ao processo de laminação a quente. Tal tendência se deve ao fato deste processo aplicar altas taxas de deformação para transformar placas (de até 250 mm) em tiras (de até 1,20 mm) e, assim, estando sujeito a uma distribuição de deformação ligeiramente diferenciada ao longo da largura, questão bastante abordada pela literatura.⁽³⁻⁸⁾ Tal irregularidade na distribuição de deformação pode implicar num maior alongamento longitudinal em uma parte específica onde o excesso de comprimento causado tende a se acomodar na forma de ondas. Entretanto, os desvios de planicidade podem ter origem em outras etapas do ciclo produtivo e até mesmo durante a utilização das bobinas nas instalações dos consumidores finais. Assim, todas as etapas do ciclo produtivo devem ter estrito controle sobre as variáveis de processo influentes para garantir o pleno êxito da aplicação final.

Quando originados no processo de laminação, os desvios de planicidade podem estar associados às mudanças do perfil transversal durante os passes de laminação. Com isto, o gap entre cilindros de trabalho de cada passe de laminação deve ser bem modelado de forma a permitir controle desses tipos de causas.⁽⁵⁾ Outro mecanismo de formação está associado à variação de temperatura ao longo da largura no final da laminação, que pode gerar desvios de planicidade já que as regiões mais quentes tendem a contrair mais, e, com isto, ter um comprimento no final do resfriamento menor que nas regiões outrora mais frias.^(3, 6) Outro aspecto associado ao perfil térmico é a contração durante transformação de fase após o último passe de laminação. Conforme modelo matemático apresentado por Colas⁽³⁾ para uma dada espessura, ondulações na borda serão maiores e concentradas

numa estreita faixa em tiras que contêm somente austenita no final da laminação, enquanto tiras que já apresentam transformação parcial (austenita + ferrita) no final de laminação tendem a apresentar menores ondulações localizadas em uma faixa mais larga.

Este trabalho pretende mostrar as intervenções e controles implementados que permitiram consolidar mais uma etapa da melhoria contínua dos produtos e processos, validados por medições internas e por pesquisa de satisfação de clientes.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Dando seqüência à busca de melhoria contínua dos produtos laminados a quente da ArcelorMittal Tubarão, novos projetos foram criados para otimização dos resultados de planicidade. Os projetos mencionados neste artigo foram implementados por etapas, ao longo dos anos de 2006, 2007 e 2008. Em 2009 novas ferramentas estão sendo desenvolvidas para estabelecer monitoramento dos indicadores criados.

2.1 Descrição dos Equipamentos Utilizados na Laminação a Quente da Arcelormittal Tubarão

O LTQ da ArcelorMittal Tubarão destaca-se por apresentar vários recursos que visam garantir a boa planicidade entre as cadeiras do trem acabador, o que, sem dúvida, proporciona também uma melhor planicidade na saída da cadeira F6. O trem acabador apresenta cilindros de contraflexão (*bending* positivo) em todas as cadeiras com capacidade de até 1.500 kN, o que associado ao *shifting* de ± 150 mm e à curva do cilindros de trabalho com formato CVC (*continuous variable crown*), também em todas as cadeiras, permite uma grande flexibilidade para controle de forma da tira. O setup de *shifting* e *bending* é calculado por um computador de processo, cujo modelo de controle (*PCFC - Profile Contour and Flatness Control*) se baseia principalmente na previsão da coroa térmica, desgaste e comportamento elástico dos cilindros de trabalho e encosto.

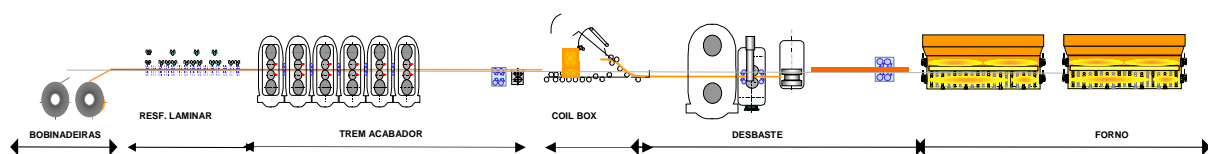


Figura 1 – Lay-out do Laminador de Tiras a Quente da ArcelorMittal Tubarão.

Essas tecnologias, quando utilizadas em conjunto com os medidores de planicidade existentes na linha, proporcionam também grande eficiência no controle da planicidade da tira. O principal medidor da linha, que se baseia em raios-X e está localizado na saída do trem acabador, provê o *feedback* para a correção da força de *bending* na última cadeira até que a ponta da tira alcance a bobinadeira. Os outros medidores existentes na linha são os *loopers* segmentados (*tensiometer loopers - TML*), entre as cadeiras F4/F5 e F5/F6, capazes de fazer a dupla função de *loopers* e de medidores de planicidade ao longo da largura da tira, permitindo com isso a correção automática do nivelamento e de ondulações simétricas.

Bobinas com dimensões críticas para a obtenção de bons resultados de planicidade no LTQ são reprocessadas no LA para a correção de possíveis ondulações. O LA da ArcelorMittal Tubarão iniciou suas operações junto com o LTQ, sendo dotado de recursos tecnológicos de última geração como uma cadeira de laminação quádrupla com força máxima de 13.000 kN, cilindros hidráulicos para controle da flexão dos cilindros (forças de *bending* positivas e negativas), medição e controle automático do alongamento.

2.2 Ações Implementadas no Trem Acabador

O PCFC utiliza os resultados dos modelos de cálculo de desgaste e temperatura para estimar a coroa mecânica e térmica dos cilindros e assim, calcular o gap entre cilindros de trabalho. Tal gap retrata o perfil transversal da tira que o complementa durante laminação. Assim, a qualidade do modelamento de desgaste e coroamento térmico é fundamental para o PCFC propor setup adequado de *shifting* e *bending* e atender os requisitos de forma e planicidade. Dentre as conseqüências de um modelamento inadequado, está a obtenção de um perfil transversal diferente do calculado e visado, conforme exemplificado na Figura 2.

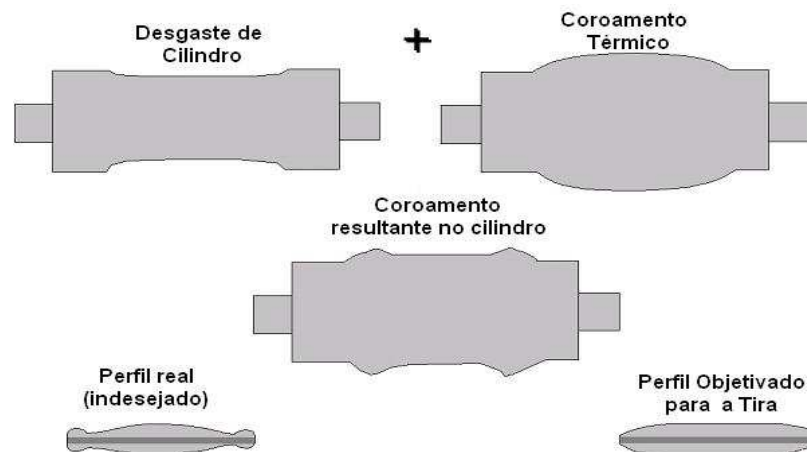
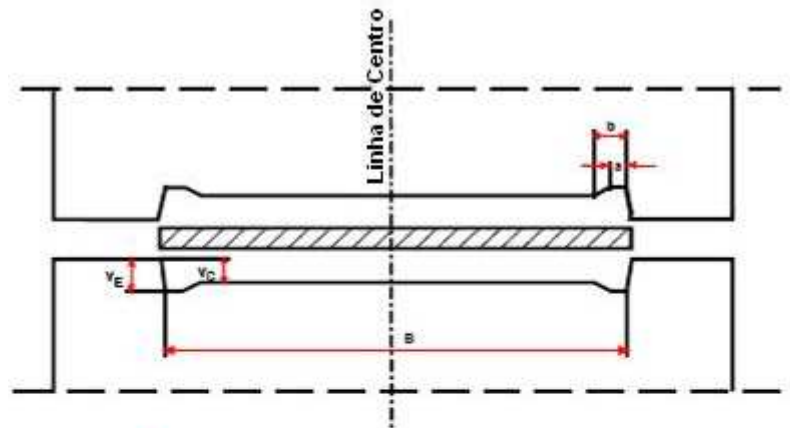


Figura 2 – Influência do desgaste e coroamento térmico no coroamento resultante durante laminação. Imprecisão do modelamento de desgaste e/ou coroa térmica pode causar perfil na tira diferente do objetivado.

Assim, foram buscadas alternativas para o aperfeiçoamento contínuo do modelamento de desgaste e coroamento térmico, além de criar indicadores específicos, cujo monitoramento permite identificação de desvios de processos e direcionamento para atuação coordenada e ágil.

2.2.1 Validação contínua do modelo de desgaste dos cilindros de trabalho

O modelo matemático para cálculo de desgaste de cilindros utilizado é baseado em equações físicas que consideram o efeito da força de laminação, largura laminada, arco de contato, comprimento laminado e tipo de material utilizado nos cilindros. Os coeficientes das equações são customizados de acordo com o tipo de cilindro e cadeira de laminação. Neste modelo, os cilindros são divididos em 150 unidades para as quais o desgaste é calculado individualmente. Assim, pode-se distinguir o desgaste nas regiões dos cilindros que tocam as bordas e centro da tira, conforme exemplificado na Figura 3. Os parâmetros considerados para descrever o contorno do desgaste calculado são passíveis de ajustes.



- B** Largura da tira
- V_C** Desgaste de cilindro nas regiões em contato com o centro da tira
- V_E** Desgaste de cilindro nas regiões em contato com as bordas da tira
- a,b** Coeficientes para cálculo do desgaste de cilindros nas regiões em contato com as bordas da tira

Figura 3 – Representação esquemática do contorno de desgaste calculado para cada tira laminada e influência dos parâmetros considerados.

Foi criado e está sendo aperfeiçoado um sistema que confronta o contorno de desgaste real, apurado pela oficina de cilindros, com o contorno de desgaste calculado. Coeficientes de comparação são monitorados, fazendo uma validação contínua do cálculo de desgaste. Assim, caso ocorra alguma incoerência nos valores de desgaste calculados e obtidos, o especialista responsável será informado, devendo após isto identificar a causa e realizar os ajustes necessários no modelo ou no processo.

2.2.2 Validação contínua do modelo de temperatura de cilindro de trabalho

A coroa térmica dos cilindros é causada pela elevação da temperatura durante a laminação. Tal temperatura é continuamente calculada pelo método de elementos finitos, sendo que o cilindro é dividido em 99 partes ao longo do comprimento e 4 anéis axiais (Figura 4). Assim, o perfil térmico do cilindro é estimado durante todo momento de laminação e repouso.

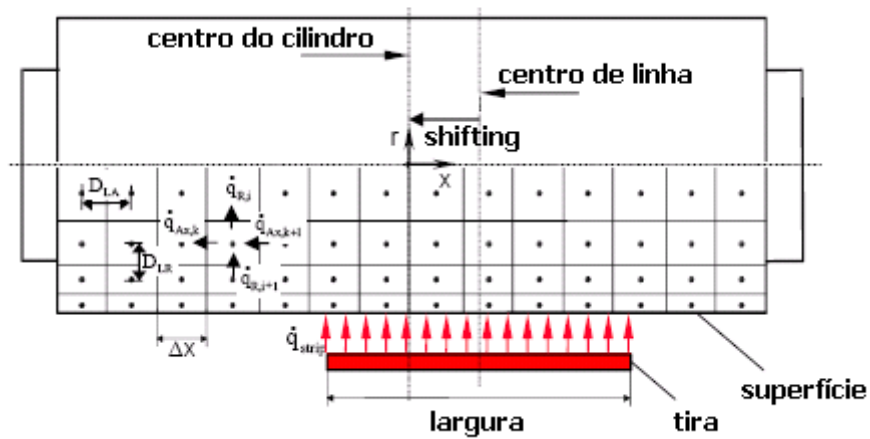


Figura 4 – Representação esquemática das considerações feitas pelo modelo de coroamento térmico dos cilindros de trabalho.

A cada troca de cilindros a temperatura superficial é medida em 5 pontos. Nesse instante, o modelo térmico, que continua em execução, fornece as temperaturas calculadas nos mesmos pontos. Com isto é feita a comparação da temperatura medida e a calculada. Novamente, em caso de detecção de divergências significativas nesses valores, o especialista responsável será notificado, devendo identificar as causas e realizar ajustes no modelo ou processo.

A validação contínua do desgaste e coroamento térmico, conforme esquematizado na Figura 5, permite verificar a conformidade do processo e, em caso de desvios que possam comprometer a qualidade do cálculo de gap, fornece subsídios para uma atuação ágil e direcionada.

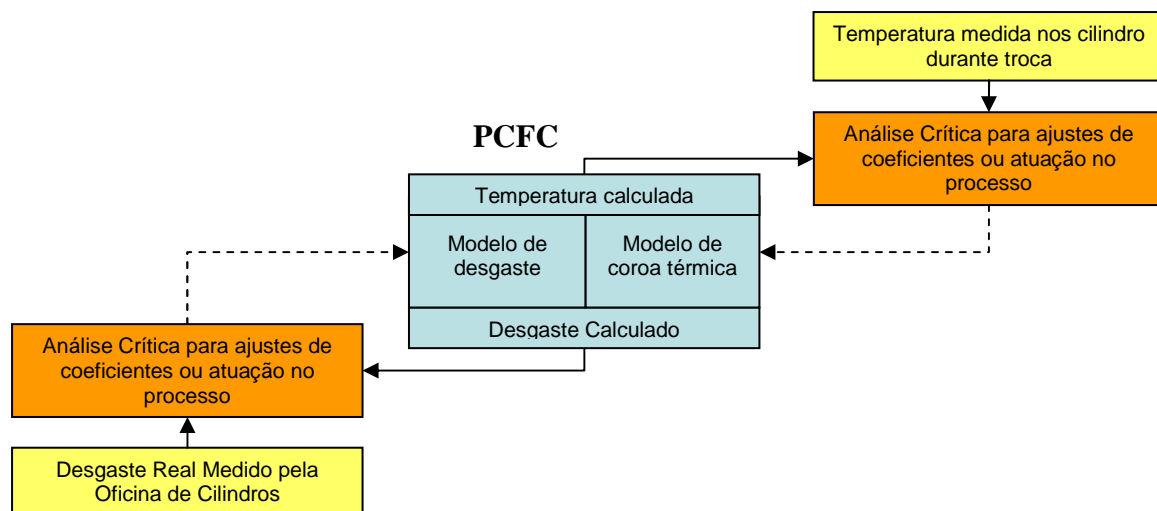


Figura 5 – Representação esquemática das verificações realizadas para validar continuamente o modelo de desgaste e coroamento térmico.

2.2.3 Avaliação do perfil térmico transversal na saída do trem acabador

A simetria do perfil térmico da tira imediatamente após a laminação é altamente desejada, pois favorece a estabilidade operacional da laminação, a homogeneidade de propriedades mecânicas⁽⁹⁾ e a planicidade da tira.⁽³⁾ Na ArcelorMittal Tubarão o perfil transversal de temperatura é continuamente medido após a última cadeira de laminação. Assim, aproveitando os recursos disponíveis, foi iniciada a avaliação da simetria do perfil térmico, monitoramento útil para validar o pleno funcionamento dos sistemas de refrigeração. Em caso de detecção de

divergências significativas, o especialista responsável será notificado, podendo após isto investigar as causas e providenciar os ajustes necessários.

2.3 Ações Implementadas na Mesa de Resfriamento (*Laminar Flow*)

A etapa de resfriamento é de suma importância na definição das propriedades mecânicas da tira e no resultado final de planicidade.^(3,6,7,10,11) A extração de calor deve ocorrer da forma mais regular possível, devendo para isto ter regularidade no fluxo da água de resfriamento e dos jatos laterais (*side sweeps*), responsáveis pela remoção da água acumulada na face superior. Assim, foram buscadas melhorias nesta etapa no intuito de otimizar os resultados finais de planicidade.

2.3.1 Alteração da lógica de funcionamento dos jatos laterais da mesa de resfriamento (*Run out table*)

Originalmente, foi montado um jato lateral para cada banco de resfriamento, posicionado alternadamente no lado de acionamento e operação. Com isto objetivava-se evitar o resfriamento preferencial em um dos lados, onde poderiam ser formadas ondulações de borda devidas contrações térmicas diferenciadas.⁽¹⁰⁾ Entretanto, foi percebido que todos os jatos laterais sempre eram ligados, independente da utilização ou não do banco de resfriamento afim. Por analogia, pode-se inferir que isto poderia agravar o gradiente térmico entre borda e centro da tira, daí gerando desvios de planicidade. Assim, uma oportunidade de melhoria detectada foi a alteração da lógica de funcionamento, que passou a ativar somente os jatos laterais de bancos em uso, conforme exemplificado na Figura 6.

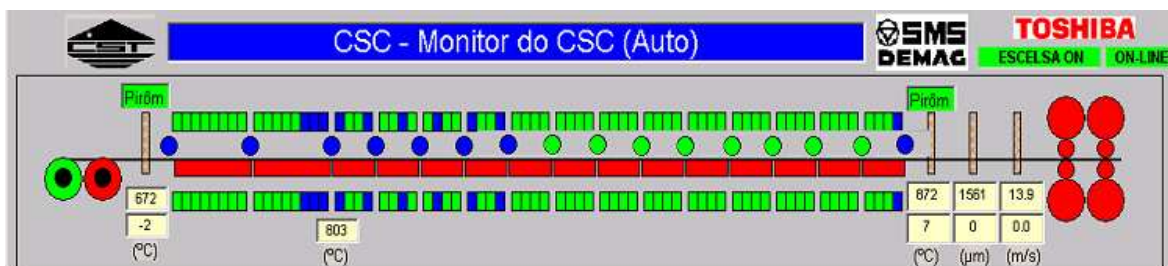


Figura 6 – Representação esquemática do laminar flow da ArcelorMittal Tubarão. Os círculos representam os jatos laterais (*side sweep*) e os retângulos os headers dos bancos de resfriamento. As cores representam o estado de operação, indicando o azul que o equipamento está em uso e o verde que está desligado.

2.3.2 Desenvolvimento de novas estratégias de resfriamento

Observações no campo permitem constatar que a planicidade é modificada durante a passagem pela mesa de resfriamento. Para uma dada composição química, tal efeito se torna mais evidente quanto maior a relação largura/espessura e maior a taxa de resfriamento. Bobinas com menor temperatura de bobinamento apresentavam maior ondulação na entrada das bobinadeiras.

Com isto, foi redefinido o resfriamento de bobinas destinadas ao corte de chapas, passando a considerar as condições favoráveis à obtenção dos resultados de planicidade. Para isto foram criadas novas estratégias de resfriamento e modificadas as temperaturas visadas para final de laminação (*FDT = Finishing Delivery Temperatura*) e de bobinamento (*CT = Coiling Temperatura*), mantendo o atendimento às propriedades mecânicas solicitadas por norma/cliente.

O exemplo da Figura 7 mostra as variações do Limite de Resistência para diferentes combinações de FDT e CT. Tal figura foi elaborada considerando resultados de ensaios mecânicos de um único padrão de aço e dimensão,

identificados pelos pontos brancos. O círculo mostra a região de trabalho inicialmente utilizada neste projeto, que posteriormente foi migrada para as regiões definidas pelos retângulos pontilhados, onde melhor desempenho de planicidade foi observado. A redução dos valores de propriedades mecânicas não comprometeu o atendimento dos requisitos da norma.

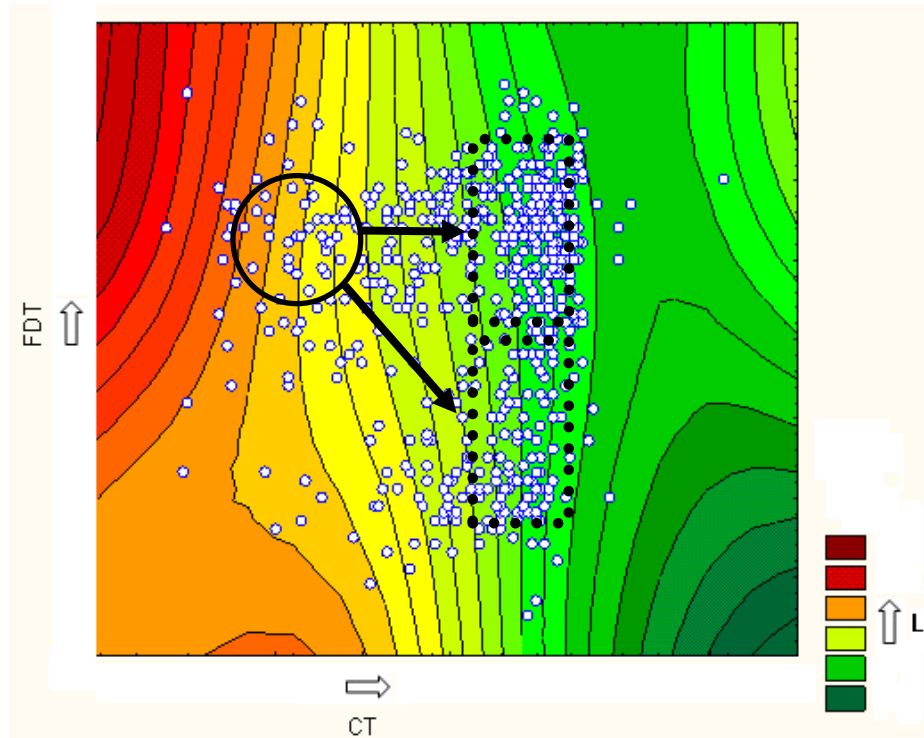
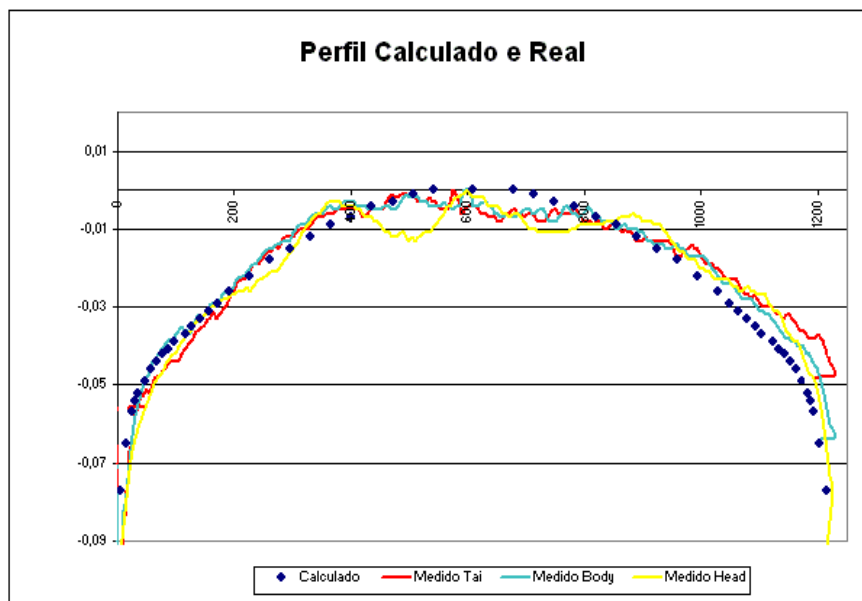


Figura 7 – Diagrama Limite de Resistência x CT x FDT. O círculo representa a região de trabalho inicialmente testada. Os retângulos pontilhados representam duas regiões de trabalho selecionadas para combinar atendimento a especificação de propriedades mecânicas e requisitos de planicidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para validação da eficácia dos desenvolvimentos realizados, buscou-se avaliar a evolução de medições internas realizadas no ciclo produtivo da ArcelorMittal Tubarão e o nível de satisfação de clientes, elaborado através de questionários.

A Figura 8 mostra um exemplo de avaliação do perfil transversal, medido após a última cadeira de laminação. A linha amarela, verde e vermelha representa, respectivamente, o perfil medido no topo, meio e base de uma bobina laminada a quente. Os pontos em azul representam o perfil calculado pelo PCFC, baseado nas condições estimadas de desgaste e temperatura dos cilindros e setup de shifthing e força bending. A superposição das curvas real e calculada permite atestar a precisão dos modelos de desgaste e de temperatura. O bom resultado de planicidade e coroamento permite atestar a qualidade do setup proposto pelo PCFC.



BQ 9703080 1,8 x 1220 JIS G3132 SPHT1

	Coroa	Cunha	Planicidade	Altura Onda (l=500mm)
Média	0,048	0,012	6,6	2,59

Figura 8 – Confronto do perfil calculado de uma tira de 1,8 X 1220mm (pontos azuis) com o perfil real obtido no topo (linha amarela), corpo (verde) e cauda (vermelha). Sobreposições de curvas atestam a assertividade dos modelos de desgaste e coroamento térmico de cilindros, e os resultados de planicidade atestam a qualidade do setup de shifting e bending do PCFC.

Na Figura 9, podemos avaliar a evolução das medições de altura de onda realizadas no Laminador de Acabamento, onde, através de uma inspeção criteriosa, é registrado o maior valor encontrado ao longo de todo comprimento da bobina. Nesta figura considerou-se toda produção, estratificando os dados por ano de processamento e relação de largura/espessura. Pode-se constatar uma melhoria contínua da planicidade ao longo dos anos, em todos os grupos de largura/espessura.

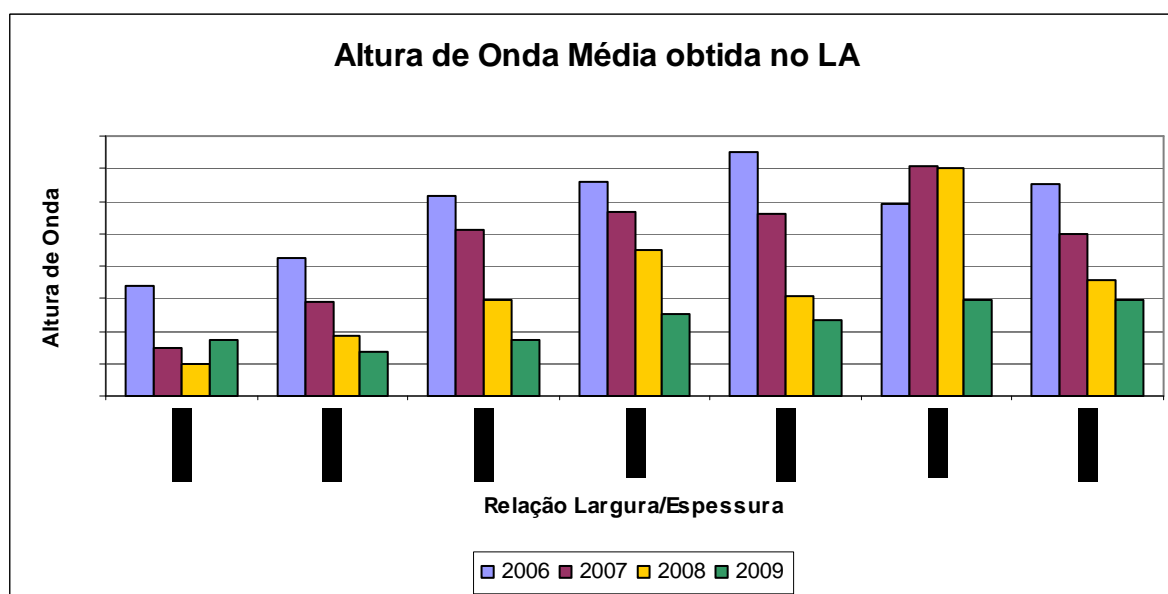


Figura 9 – Melhoria de planicidade apurada de 2006 a 2009 através de medições de altura de onda no Laminador de Acabamento da ArcelorMittal Tubarão. Uma melhora na performance foi observada em todos os grupos de largura/espessura.

Na Figura 10, é mostrada a melhoria de planicidade em bobinas de dimensão de 1,5x1200mm pertencentes ao grupo de maior criticidade de planicidade, com relação largura/espessura = 800. A diminuição média da altura de onda foi de 35%.

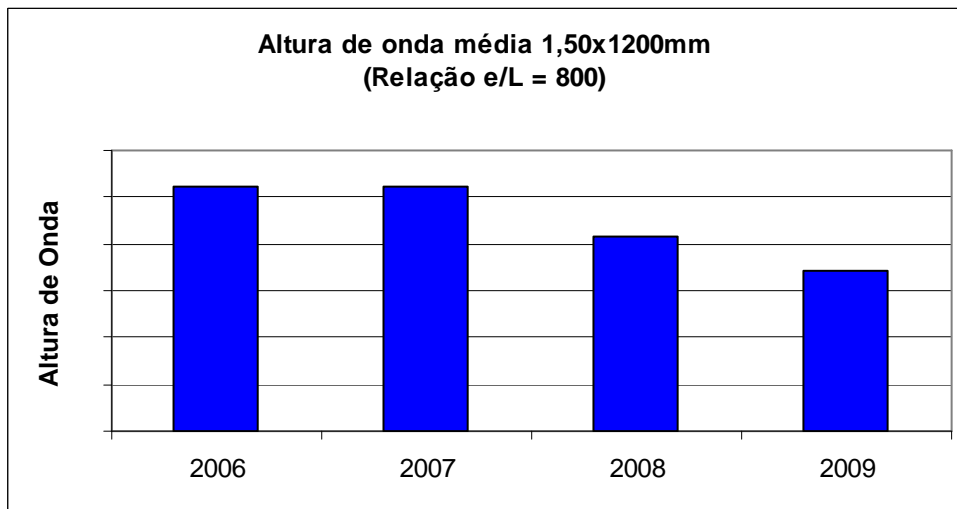


Figura 10 – Melhoria de planicidade em um grupo específico, com dimensões de 1,50x1200 mm.

Quanto aos resultados de aplicação em clientes, um exemplo que pode ser usado é o tratamento de um motivo de insatisfação, que era o empeno durante o corte das chapas em blanks, conforme mostrado na Figura 11-a. Em tal caso, frequentemente chapas planas geravam blanks empenados, independentemente se eram cortados com guilhotina ou com laser. Os blanks empenados/torcidos precisavam ser retrabalhados para que pudessem ser aplicados com êxito na fabricação de perfis estruturais. A Figura 11-b mostra dois perfis fabricados a partir de blanks empenados, sendo um retrabalhado e outro não. Com isto, ficou evidenciado a necessidade de encontrar uma solução para este modo de insatisfação.



Figura 11 – a) Empeno/torção observados após corte em blanks. b) Consequentemente os perfis produzidos ficavam fora de esquadro (ver detalhe 1). Com blanks retrabalhados foi possível obter perfis melhores (ver detalhe 2).

Após intervenções no processo de Laminação a Quente foi possível melhorar a performance das bobinas laminadas a quente na aplicação de perfis estruturais, conforme mostrado na Figura 12. Tanto os blanks obtidos a corte a laser (12-a)

quanto por corte com guilhotina (12-b) não apresentaram empenos. Com isto, foi possível produzir perfis esquadrejados, sem necessidade de retrabalho (12-c).

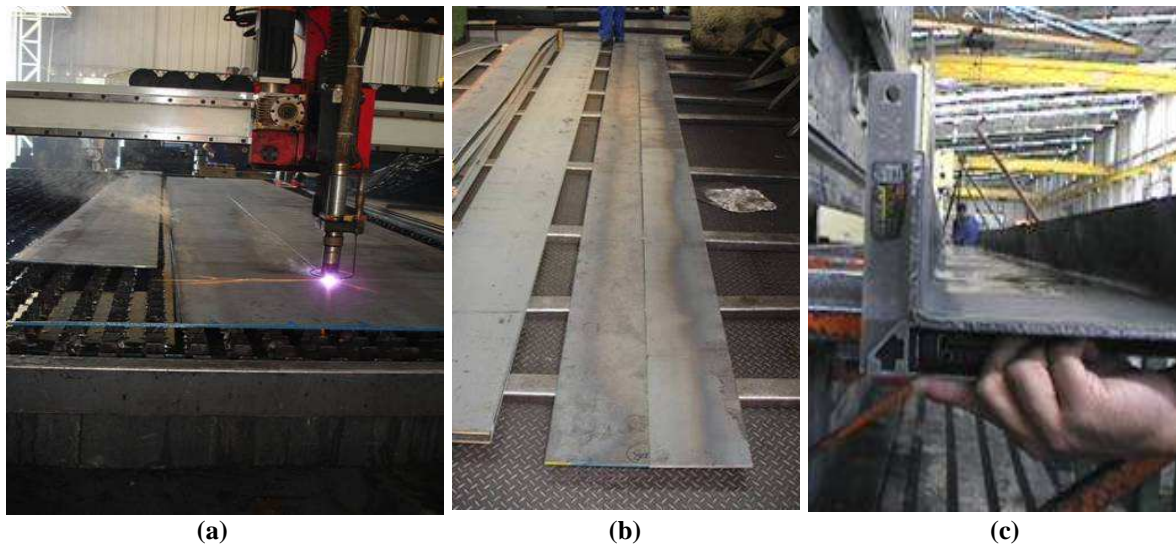


Figura 12 – Melhoria da performance após intervenções no processo de laminação a quente. Tanto os blanks cortados a laser (a) quanto por guilhotina (b) passaram a não apresentar empenos. Com isto, perfis esquadrejados passaram a ser obtidos, sem a necessidade de retrabalho.

Na Figura 13 verificamos o aumento do peso laminado de bobinas destinadas para aplicação corte em chapas, onde o quesito planicidade é mais demandado. A partir de 2006, mesmo com um expressivo aumento do fornecimento para este seguimento o número de reclamações por este motivo diminuiu.

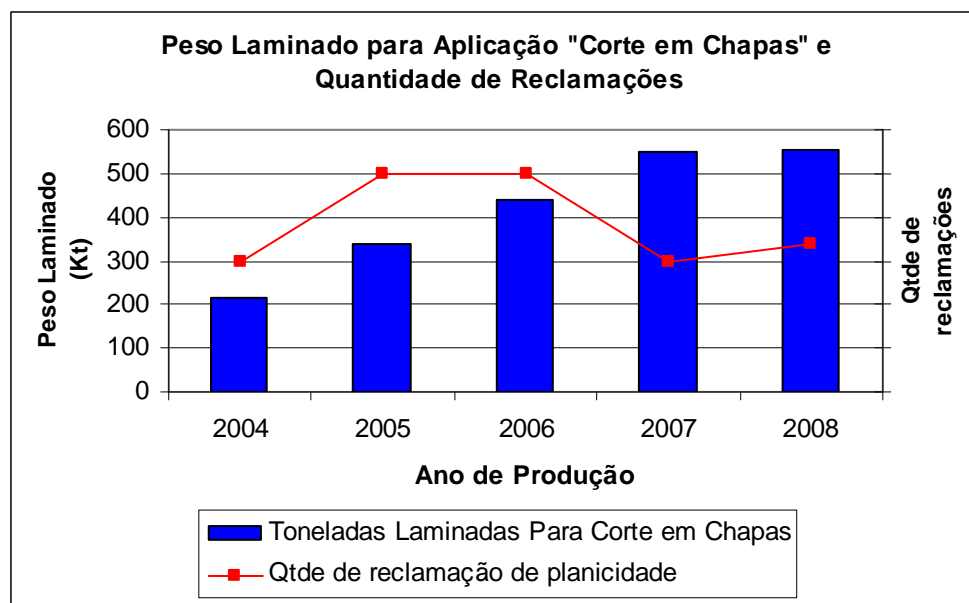


Figura 13 – Aumento do volume produzido para aplicação corte em chapa. No mesmo período foi observado uma diminuição do número de reclamações.

Outro indicador que sinaliza a melhoria da performance da planicidade obtida é a evolução do nível de satisfação dos clientes, conforme Figura 14. A partir de 2006, mesmo com o aumento da produção destinada para corte em chapas, foi apurado um aumento neste indicador de satisfação. Com a realização dos trabalhos citados neste artigo, a meta estabelecida de 7,5 foi plenamente atendida.

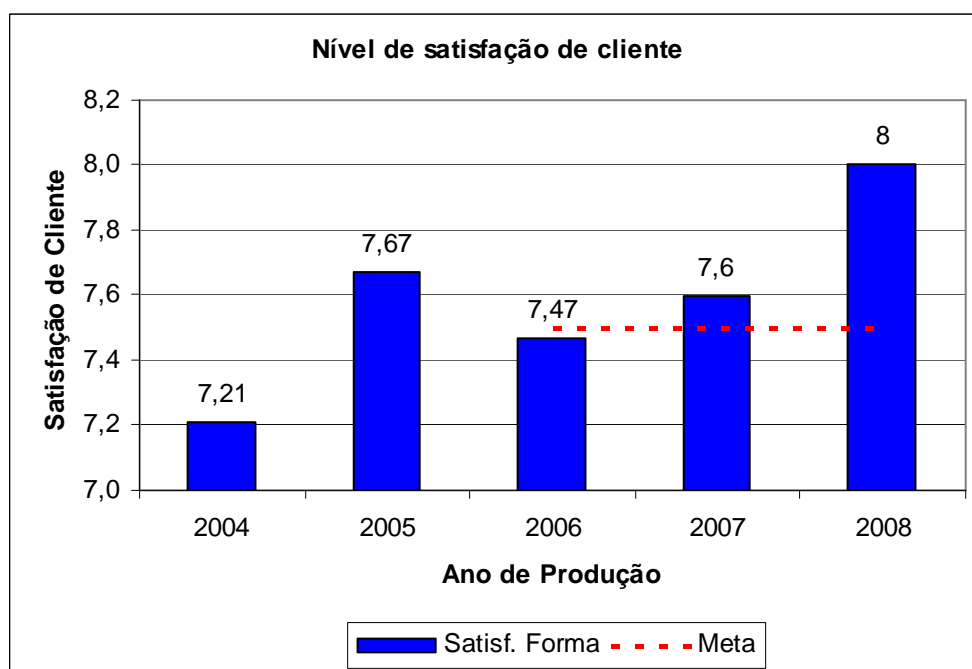


Figura 14 – Aumento do índice de satisfação de clientes com o quesito planicidade. Nos anos de 2007 e 2008 foi possível cumprir plenamente a meta estipulada de 7,5.

4 CONCLUSÕES

Através de trabalhos baseados nos fundamentos mecânicos e metalúrgicos foi possível obter uma melhora significativa da performance de planicidade das bobinas laminadas a quente. Tal melhoria foi comprovada tanto por indicadores internos, realizados através de medições e avaliações no ciclo produtivo da ArcelorMittal Tubarão, quanto por indicadores gerados a partir da percepção dos clientes. No período de 2006 a 2009 foi apurada uma diminuição da altura de onda da ordem de 35%, o que contribuiu para a elevação do nível de satisfação de cliente, que subiu cerca de 7%.

O conhecimento tecnológico adquirido tem permitido, de forma sustentável e progressiva, aumentar nossa participação no mercado de chapas, bem como em outros nichos de mercado, antes atendidos somente por chapas grossas e tiras laminadas a frio.

REFERÊNCIAS

- 1 SILVA, C. N.; COSTA, A. F. L.; CARVALHO, V. R. Melhoria dos resultados de planicidade em bobinas laminadas a quente na CST. In: **Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos**, 41., 2004. Joinville. ABM, 2004.
- 2 ROQUE, C. M. O. L.; MAZZI, L. M.; Sistema de controle de perfil, contorno e planicidade de tiras a quente. In: **Contribuição Técnica para o 1º Seminário da IDE – Departamento de Manutenção e Controle de Processo de CST**, 2001
- 3 COLÁS, R.; LEDUC, L. A.; NERI, M. A. Prediction of shape defects during cooling of hot rolled low carbon steel strip. **Ironmaking and Steelmaking**, v. 31, n. 1, p. 93-96, fev. 2004.
- 4 GINZBURG, V.B. Steel – High-quality steel rolling: theory and practice. In: **Manufacturing engineering and materials processing**, 39. New York: Marcel Dekker Inc., 1993.

- 5 ZAMBRANO, P. C.; LEDUC, L. A.; COLÁS, R. Modelling profile and shape evolution during hot rolling of steel strip. **Revista de Metalurgia**, v. 42, n. 5, p. 382-390, Sep./Oct.. 2006.
- 6 OGAI, H.; HIRAYAMA, R. Consistent Shape Prediction Simulator after Hot Rolling Mill. **Nippon Steel Technical Report**, v. 379, n. 89, p. 43-49, jan. 2004.
- 7 NILSSON, A.; JOKISAARI, J.; STERNSTRÖM, A. Measuring and calculating flatness during hot-coiling: steel grips. In: INTERNATIONAL CONFERENCE METALFORMING 2004, 10., 2004, Akademia Górniczo-Hutnicza. **Anais...** Akademia Górniczo-Hutnicza ,p. 19-22, 2004.
- 8 REMIREZ, F. Leveling Defects: causes and cures. **MetalForming**. Bethlehem, v. 36, n. 7, p. 32-34, jul. 2000.
- 9 DEGNER, M.; FRIEDRICH, K. E.; TAMLER, H. W. Advanced measuring techniques for the production on ultra thin hot strip. **Revue de Métallurgie-CIT**, n.6, p. 589-597, jui. 2001.
- 10 YU, Q. Laminar Flow Cooling Behavior of Wide Heavy-Thickness Coils. **Iron & Steel Technology**, Warrendadle, v. 2, n. 8, p. 72-81. 2005.
- 11 YU, Q. Effect of Cooling and Stacking on Buckling of Plates. **AISE Steel Technology**, v. 80, n. 6, p. 35-44, jun. 2003.