

AUMENTO DO TEMPO DISPONÍVEL PARA PRODUÇÃO ATRAVÉS DA OTIMIZAÇÃO DO TAMANHO DE INSTRUÇÃO DE LAMINAÇÃO DO LTQ DA ARCELORMITTAL TUBARÃO¹

Gleyson Marcos Barbosa²
 Angelo Campos Moreira³
 Arnaldo Carneiro Salles⁴
 Bruno Bastos da Silva Murad⁵
 Bruno Mazzini Muniz⁶
 Cristina Maria Oliveira Lima Roque⁷
 Felipe Deorce Gomes⁸
 Marco Túlio da Silva Costa⁸
 Robson Ferreira Vargas⁹

Resumo

Preparando-se para um novo ciclo de aumento da capacidade de produção, o corpo técnico do LTQ da ArcelorMittal Tubarão está voltado para o desenvolvimento de projetos que buscam aumento da produtividade e do tempo disponível do LTQ para produção. Seguindo esta diretriz foram realizadas melhorias no LTQ que permitiram a elevação da utilização dos cilindros de trabalho do Trem Acabador de forma a diminuir o número de paradas para trocas. Com isto obteve-se uma elevação sustentável da ordem de 30% do peso médio de Instrução de Laminação. Este resultado implicou num aumento de 5,2 horas/mês do tempo disponível para produção e ganho financeiro estimado da ordem de 6,6 milhões USD/ano.

Palavras-chave: Instrução de laminação; Produtividade; Troca de cilindros, LTQ;

INCREASE OF THE AVAILABLE TIME FOR PRODUCTION BY OPTIMIZING THE WORK ROLLS CAMPAING LENGHT AT ARCELORMITTAL TUBARÃO HSM

Abstract

In order to support a new cycle of production capacity increasing, the technical staff of ArcelorMittal Tubarão HSM is focusing the development of projects that improves productivity as well as the available time for production. Following this guideline, improvements have been done in the HSM in order to optimize the use of work rolls in the Finishing Mill, reducing the number of stops for roll changes. A sustainable increase of approximately 30% on the average weight rolled at roll campaigns was achieved. This result allowed save 5.2 hours / month of mill stop, increasing production time and resulting in an estimated financial gain of about 6.6 million USD / year.

Key-words: Roll campaign; Productivity; Hot Strip Mill; HSM.

¹ Contribuição técnica ao 48º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 24 a 27 de outubro de 2011, Santos, SP

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

³ Engenheiro Metalurgista, Especialista em LTQ da ArcelorMittal Tubarão

⁴ Engenheiro Mecânico, Especialista em LTQ da ArcelorMittal Tubarão

⁵ Engenheiro de Materiais, MSc, Especialista em LTQ da ArcelorMittal Tubarão

⁶ Engenheiro Elétrico, MSc, Especialista em LTQ da ArcelorMittal Tubarão

⁷ Engenheira Mecânica, MSc, Especialista em Automação da ArcelorMittal Tubarão

⁸ Técnico Metalúrgico, Técnico em Programação de Produção da ArcelorMittal Tubarão

⁹ Engenheiro de Produção, Especialista em LTQ da ArcelorMittal Tubarão

1 INTRODUÇÃO

A ArcelorMittal Tubarão seguindo seu plano de expansão da produção de bobinas laminadas a quente, finalizou a primeira etapa em 2010, quando ampliou sua capacidade de produção anual de 2,8Mt/ano para 4,0Mt/ano.^(1,2) Consolidada esta primeira etapa, novos projetos foram iniciados para alcançar a produção anual de 4,6Mt/ano através, principalmente, da otimização de processos. Tal diretriz tem impulsionado vários projetos cujos resultados convergem para o aumento do índice de trabalho e produtividade do LTQ. Neste cenário insere-se o presente trabalho, cujo objetivo final é contribuir para a elevação do índice de trabalho da linha, pela redução das trocas programadas de cilindros de trabalho do trem acabador por meio do aumento do tamanho das instruções de laminação.

A troca dos cilindros de trabalhos ocorre em função do desgaste acumulado durante o processo de laminação a quente. O perfil deste desgaste ajuda a compor o perfil da tira laminada e, portanto, tem impacto direto no coroamento e planicidade. Assim, conciliar o aumento do tamanho de instrução com a manutenção da qualidade dos produtos laminados a quente resulta em grande desafio para o LTQ.

2 MATERIAL E MÉTODOS

No desenvolvimento deste trabalho procurou-se explorar os recursos tecnológicos disponíveis no LTQ e realizar melhorias de processo que impactariam positivamente no tamanho de instrução de laminação. Dessa forma, as principais atividades desenvolvidas foram:

- desenvolvimento e utilização de novos cilindros de laminação, mais resistentes ao desgaste e a deterioração superficial;
- melhoria de processo e equipamento visando diminuir a taxa de desgaste e distribuição do mesmo ao longo dos cilindros de trabalho do trem acabador;
- melhoria no equipamento visando diminuir a degradação dos cilindros de trabalho, permitindo flexibilizar o processamento de materiais com requisito de qualidade superficial restrita;
- identificação de gargalos para o sequenciamento de materiais e aprimoramento das regras para programação de placas para a laminação, assim como a utilização das mesmas; e
- planejamento e realização de experiências para avaliar o impacto do aumento de instrução no processo e produto.

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

O LTQ da ArcelorMittal Tubarão, representado na Figura 1, 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 1.500kN, o que associado ao *shifting* e à curva do cilindros de trabalho com perfil CVC (*continuously 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.

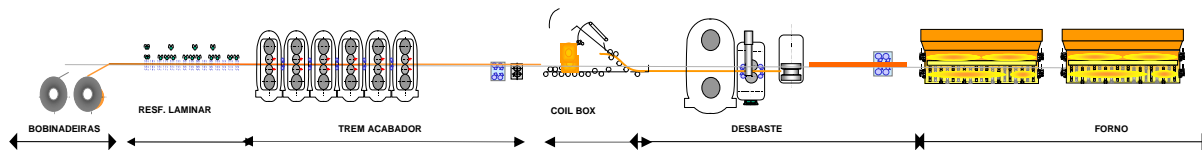


Figura 1. Lay-out do Laminador de Tiras a Quente da ArcelorMittal Tubarão.

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.

Bobinas com dimensões críticas para a obtenção de bons resultados de planicidade no LTQ são reprocessadas no Laminador de Acabamento (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 Desenvolvimento e Utilização de Novos Cilindros de Laminação

Neste ponto, o trabalho conjunto com fornecedores de cilindros de laminação na busca do desenvolvimento de materiais dos cilindros de trabalho de maior resistência, tem como fundamento básico a manutenção da estabilidade operacional da laminação. Além disso o aprimoramento dos métodos de inspeção e controle, que possibilitam a utilização de cilindros fabricados em materiais mais resistentes ao desgaste e à deterioração superficial. Os esforços têm por objetivos principais:⁽³⁾

- aumento das campanhas de laminação e do índice de trabalho do LTQ mediante a redução do número de trocas de cilindros programadas;
- maior qualidade superficial do produto final; e
- maior desempenho e redução dos custos associados ao consumo de cilindros

Na Oficina de Cilindros, foram necessários investimentos na aquisição de equipamentos de ensaios não destrutivos correntes parasitas e ultrassom automáticos integrados aos sistemas supervisórios das retíficas, melhorias nos programas de acompanhamento e controle das utilizações e inspeções de cilindros além do aprimoramento dos padrões operacionais e treinamento dos operadores.

A Figura 2 ilustra a evolução dos materiais de cilindros de trabalho do LTQ.

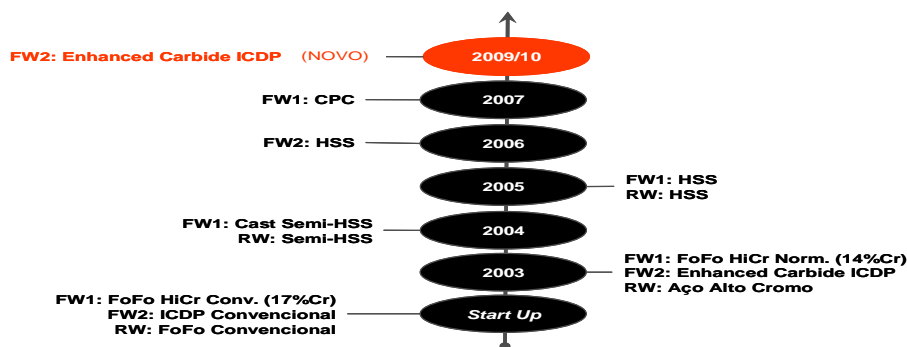


Figura 2: A evolução de materiais de cilindros de trabalho do LTQ. *Legenda:* FW1 = Cilindros de trabalho do trem acabador (cadeiras F1-F3); FW2 = Cilindros de trabalho do trem acabador (cadeiras F4-F6); RW = Cilindros de trabalho do laminador de desbaste.

Inicialmente, o principal objetivo do desenvolvimento de novos materiais para cilindros de trabalho das primeiras cadeiras do trem acabador (F1 a F3) foi a redução da ocorrência de carepa em faixa em materiais com maiores requisitos de qualidade superficial. O primeiro passo foi a utilização de cilindros fabricados em ferro fundido com um menor teor de cromo e tratamento diferenciado. Com a utilização de cilindros fabricados em HSS a partir de 2005, deu-se início uma nova etapa no desenvolvimento de cilindros FW1.⁽⁴⁾ Por fim, em 2007, iniciaram-se os testes com os cilindros HSS fabricados pelo processo CPC (*Continuous Pouring Process for Cladding*), cujo excelente aspecto superficial após a laminação e resistência ao desgaste superior aos dos cilindros HSS fabricados pelo processo de centrifugação permitiram a obtenção de até 6 campanhas sem retificação na cadeira F1.

Em relação aos cilindros de trabalho das últimas cadeiras do trem acabador (F4-F6), a substituição dos cilindros fabricados em ferro fundido ICDP convencional pelos ICDP microligados (*Carbide Enhanced*) a partir de 2003⁽⁵⁾ representou uma redução considerável na ocorrência de carepa de cilindros e no desgaste após cada campanha.

O último desenvolvimento (2009 / 2010) culminou com a utilização de uma nova geração de cilindros ICDP microligados para as últimas cadeiras (F4 a F6), com menor teor de carbonetos eutéticos e maior fração de carbonetos especiais à base de Nióbio e Vanádio, além de um menor teor de grafita. Desta forma, houve um aumento da resistência ao desgaste dos cilindros, contribuindo para a extensão das campanhas dos cilindros de trabalho das últimas cadeiras, conforme a Figura 3.

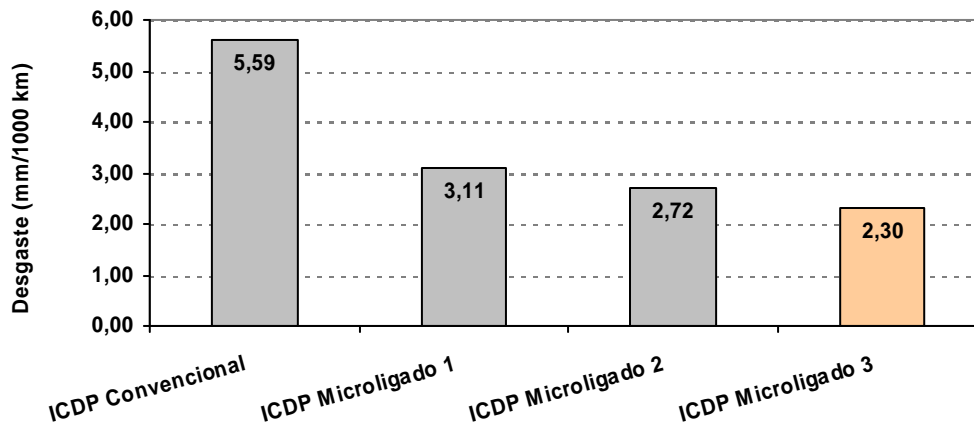


Figura 3: Aumento da resistência ao desgaste dos cilindros ICDP para as últimas cadeiras do Trem Acabador.

Na Figura 3, nota-se um aumento da resistência ao desgaste de aproximadamente 59% em relação às especificações convencionais utilizadas no início de operação, fruto de uma estratégia baseada no desenvolvimento em parceria com fornecedores criteriosamente selecionados.

O desempenho do cilindro varia com seu diâmetro, conforme demonstrado na Figura 4. Com este ponto de vista também pode ser verificado que os cilindros ICDP microligados três apresentam melhor desempenho que os demais da mesma categoria. Em função disto, estrategicamente os cilindros novos são alocados na cadeira que apresenta maior desgaste por instrução.

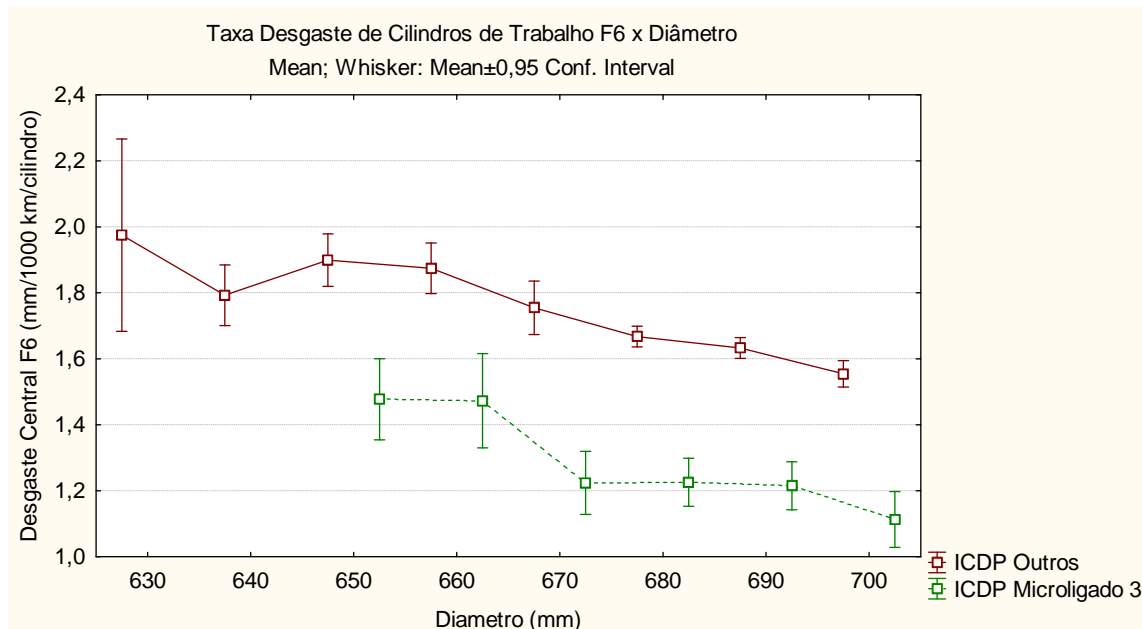


Figura 4: Variação do desgaste em função do diâmetro para ICDP microligado 3 e outros. Os cilindros novos, com maiores diâmetros, são destinados a cadeiras que apresentam maior taxa de desgaste.

2.3 Otimização do Sistema de Aplicação de Óleo

A aplicação de óleo no cilindro de laminação reduz as forças de trabalho, o desgaste e melhora a qualidade de sua superfície. O sistema antigo era vulnerável à

entupimentos que comprometiam a homogeneidade da aplicação. Com isto foram realizadas modificações no sistema que agora permite uma aplicação mais homogênea de óleo, é menos vulnerável à obstruções e ainda permite a realização de trocas rápidas de bicos. O primeiro sistema instalado completou dois anos sem nenhuma ocorrência de obstrução.



Figura 5: Novo sistema de aplicação de óleo nos cilindros de trabalho.

2.4 Ajuste no Sistema de Refrigeração de Cilindros e *Skin Cooling*

Foram realizados ajustes na vazão do sistema de refrigeração e *Skin Cooling* (Figura 6) no intuito de diminuir o nível de degradação da superfície dos cilindros de trabalho. Com isto foi possível melhorar as condições de processo para laminação de materiais com requisito de superfície. Tais sistemas foram otimizados de forma a se adequarem ao novo ritmo de produção de 4.0 Mt/ano e novas otimizações estão sendo buscadas para sustentarem o visado de 4.6 Mt/ano.

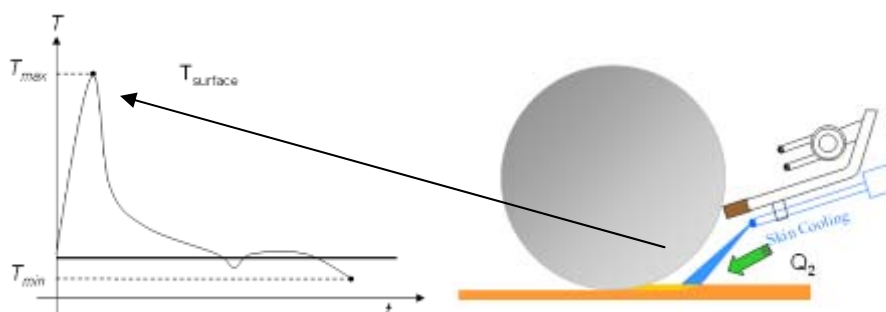


Figura 6: Desenho esquemático do skin cooling. Com a otimização do resfriamento da superfície da tira antes da mordida foi reduzido o nível de degradação dos cilindros.

2.5 Ajuste dos Modelos de Desgaste e Coroamento Térmico dos Cilindros de Trabalho

A qualidade do setup de shifting e bending proposto pelo PCFC é dependente da precisão dos modelos de desgaste e coroa térmica. Bem ajustado, o modelo trabalha para distribuir ao máximo o desgaste nos cilindros, evitando depressões localizadas e, dessa forma, favorecendo a extensão das instruções de laminação. Foi criada uma rotina para realização de análises onde são confrontados o contorno do desgaste real, apurado pela oficina de cilindros, e o contorno de desgaste calculado pelo modelo PCFC. Assim, caso ocorra alguma incoerência nesses valores, o especialista responsável será informado, devendo após isto identificar a causa e realizar os ajustes necessários no modelo ou no processo.

Conforme esquema da Figura 7, o modelamento do coroamento térmico do PCFC também é atualizado periodicamente, neste caso sendo confrontadas as temperaturas reais e medidas ao longo de 5 pontos da superfície dos cilindros. Com o monitoramento dos modelos está sendo possível providenciar ajustes periódicos (exemplo na Figura 8) de forma a manter-los com precisão adequada para o bom funcionamento do processo.

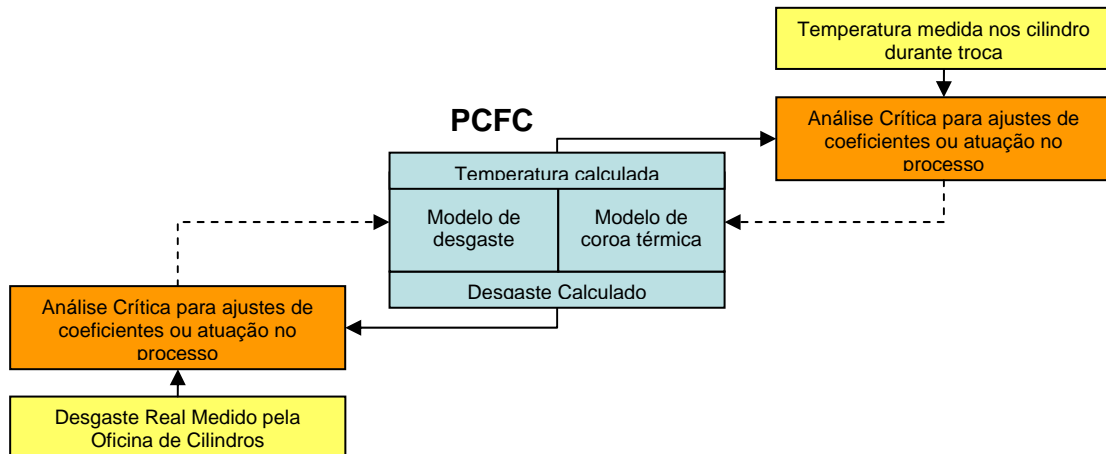


Figura 7 – Representação esquemática das verificações realizadas para validar continuamente o modelo de desgaste e coroamento térmico.

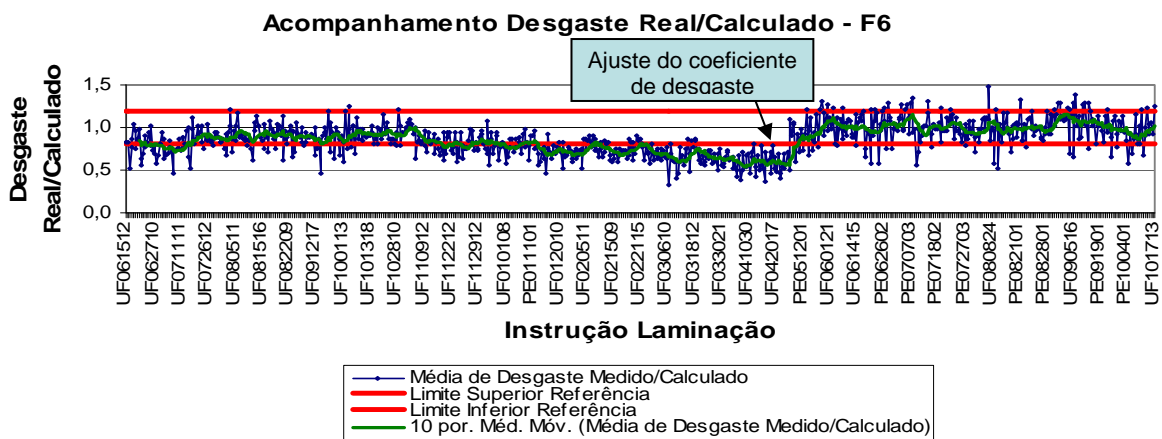


Figura 8 – Aumento e manutenção da precisão do modelo de desgaste da F6 após a realização de ajustes.

2.6 Programação de Instruções de Laminação

A programação de placas segue regras padronizadas que estabelecem critérios de sequenciamento de materiais tais que permitam uma transição estável entre eles assim como o atendimento dos requisitos de qualidade (superfície e forma). Para isto, tais critérios restringem saltos de espessura, largura e classe de resistência assim como a quantidade de bobinas com a mesma faixa de largura e posicionamento de material crítico para laminação e elevada exigência de qualidade superficial.

Tendo em vista as melhorias no processo mencionadas acima se buscou identificar oportunidades para elevar a quantidade de placas programadas nas instruções sem comprometer a qualidade do produto final. Para isto foi realizado acompanhamento do processo de programação de bobinas para identificar os principais gargalos que

impediam a inclusão de mais placas nas instruções de laminação. Os principais gargalos encontrados foram:

- períodos com baixo volume de placas disponíveis para programação;
- não exploração total das regras de programação vigentes (programação em manual);
- restrições de programação; e
- mix muito diversificado.

O último item identificado, relativo ao mix, foi considerado fora de escopo pelo fato do corpo técnico não ter ação direta.

Para melhorar a quantidade de placas disponíveis no pátio do LTQ foi iniciado um trabalho que visa à redução do envio de placas para a área de Condicionamento. Este trabalho, que é bastante amplo, é conduzido pela área técnica da Laminação a Quente e Lingotamento e conseguiu elevar, de forma sustentável, em 15% o índice de consecução de rota para o LTQ.

Para melhorar a exploração das regras de programação vigentes, foram realizados treinamentos no local de trabalho e uma revisão do padrão técnico visando facilitar o entendimento do conteúdo. Para isto foram levantadas as principais dúvidas dos usuários do padrão e o texto modificado de forma a esclarecê-las.

Durante os acompanhamentos foram identificadas situações que poderiam elevar a quantidade de placas instruídas e que acenavam baixo risco ao processo e produto. Tais oportunidades de flexibilização foram testadas individualmente, com acompanhamento durante a laminação e, depois, num segundo momento, liberadas para ocorrer em maior escala. Conforme resultado de processo e qualidade, tais flexibilizações foram incorporadas no padrão de programação.

3 RESULTADOS

Com as melhorias de processo foi possível realizar maiores instruções de laminação sem comprometer a qualidade dos produtos. Até o presente momento foi possível elevar, de forma sustentável, em 30% (Figura 9) o peso médio das instruções laminadas.

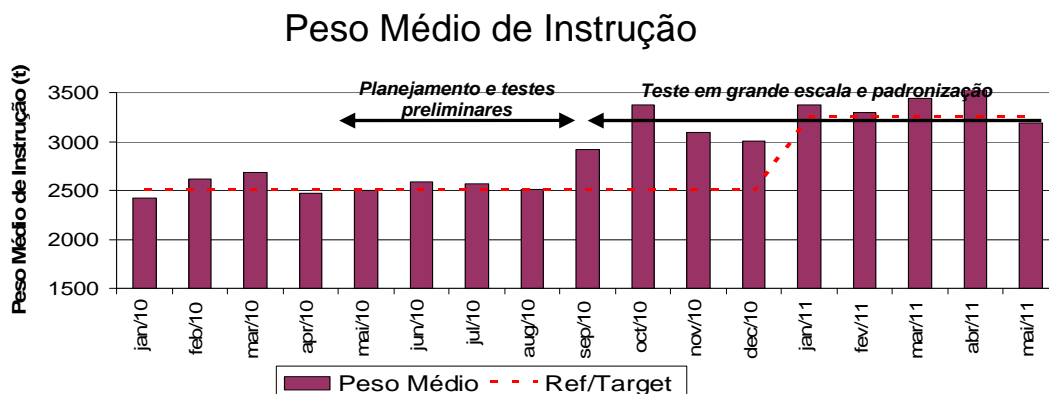


Figura 9 – Evolução do peso médio de instrução de laminação.

A Figura 10 mostra a evolução do tempo disponibilizado para processo em função do aumento da instrução. Considerando o primeiro quadrimestre de 2011, estão sendo disponibilizadas mensalmente cerca de 5,2 horas para processo. O tempo acumulado desde início dos experimentos é da ordem de 41 horas. Com isto o incremento na produção mensal é da ordem de 2300t (Figura 11).

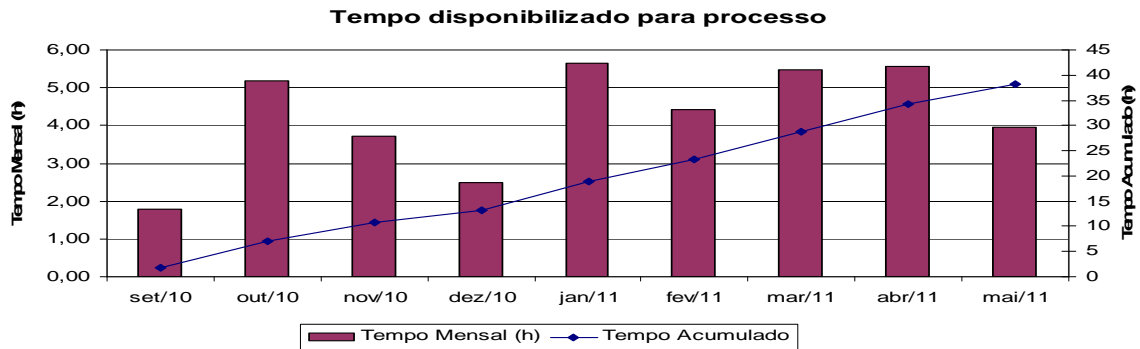


Figura 10 – Evolução do tempo disponibilizado para processo em função do aumento do tamanho de instrução.

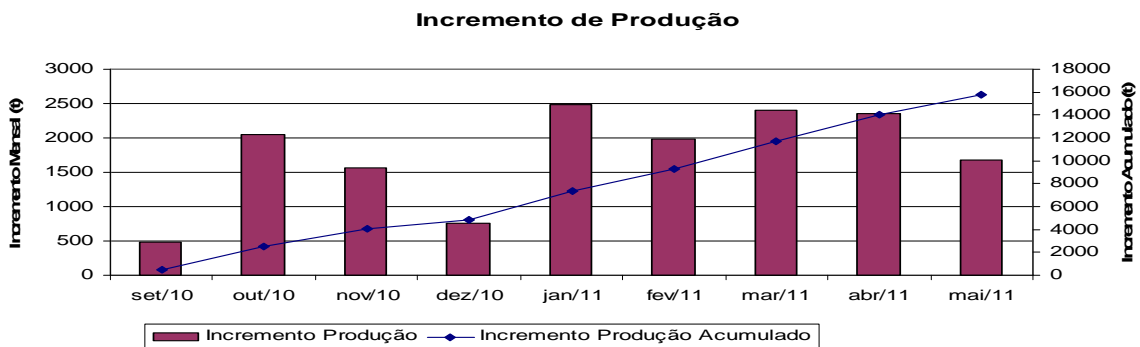


Figura 11 – Evolução do incremento de produção em função do aumento do tamanho de instrução.

4 DISCUSSÃO

A evolução do tamanho de instrução ocorreu de forma estrategicamente gradativa, permitindo a observação do impacto na estabilidade do processo. Dessa forma foi possível posicionar a ArcelorMittal Tubarão em um novo patamar sustentável em função das melhorias de processo.

O nível de desgaste de cilindros, que também depende do mix laminado, foi elevado conforme a Figura 12, sendo que este fato não comprometeu o atendimento dos requisitos de forma. A Figura 13 mostra o perfil transversal obtido em uma bobina processada com cilindros com laminação acumulada de 148 km. Mesmo nesta situação extrema de processamento tanto o perfil transversal quanto o coroamento obtido (Figura 14) estão adequados para o atendimento dos requisitos do cliente.

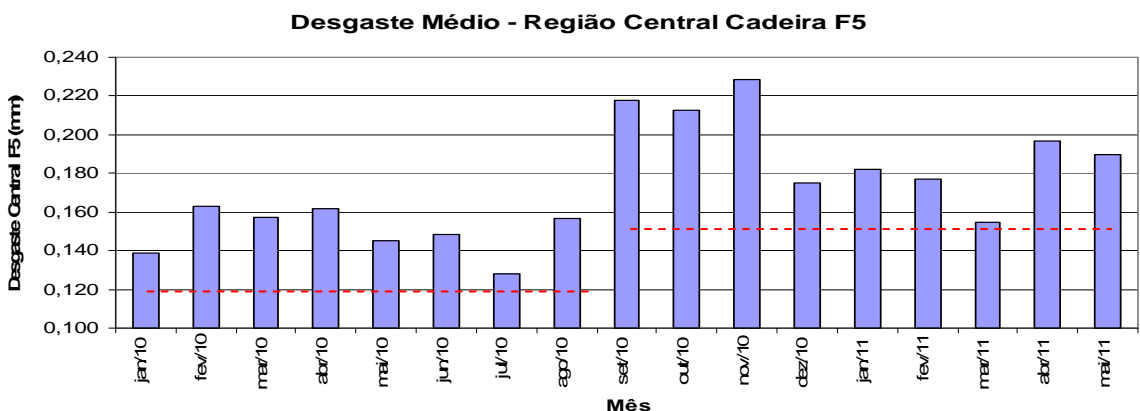


Figura 12 – Desgaste médio na região central de cilindros de trabalho da cadeira F5.

**Perfil Transversal BQ 0B04213 laminada após 148Km
 2,0mm x 1020mm**

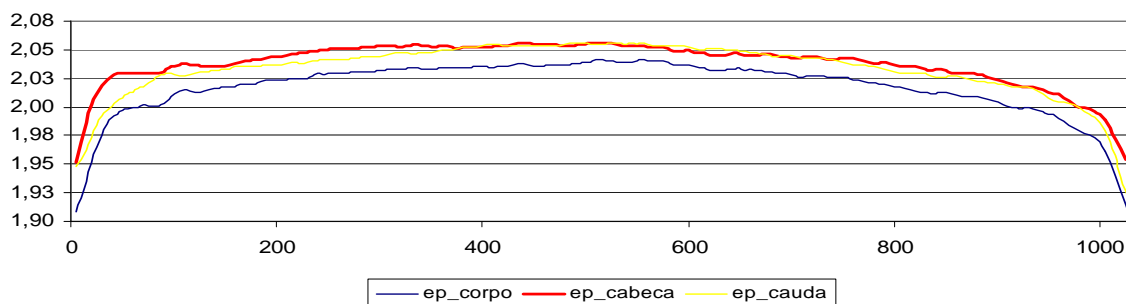


Figura 13 – Perfil transversal do corpo, cabeça e cauda de bobina processada com cilindros com quilometragem acumulada superior a 148 km.



Figura 14 – Coroamento obtido ao longo da bobina mencionada na Figura 11.

A Figura 15 mostra a diminuição da quantidade de trocas de cilindros (ocasionado pelo aumento do tamanho de instrução) e a qualidade superficial dos cilindros (observada imediatamente após o final da laminação da instrução) que por sua vez influencia a qualidade superficial de tiras. Em meados de Setembro/10, quando o tamanho de instrução começou a ser elevado de forma representativa, coincidentemente também foi elevada a quantidade de material com espessura menor que 2 mm (Figura 16), o que impacta negativamente na superfície de cilindros. Em Dezembro/2010 a combinação entre a baixa quantidade de troca de cilindros e o alto percentual de material fino, resultou na queda acentuada do percentual de cilindros com superfície boa. A partir de janeiro/2011, com os ajustes no *skin cooling* foi observada uma melhoria na superfície de cilindros, que voltou aos patamares históricos mesmo num cenário de maior produtividade e mix de produção mais crítico.

Evolução da quantidade de trocas de cilindros e qualidade da superfície de cilindros de trabalho (F1) no final de laminação

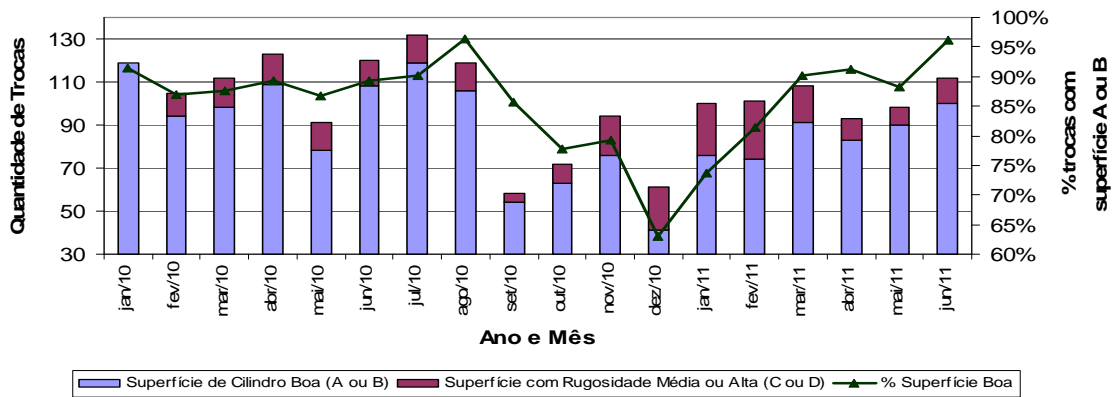


Figura 15 – Redução da quantidade de trocas de cilindros e queda na qualidade superficial, que foi recuperada após intervenções no processo.

% Mix de Produção abaixo de 2mm de espessura

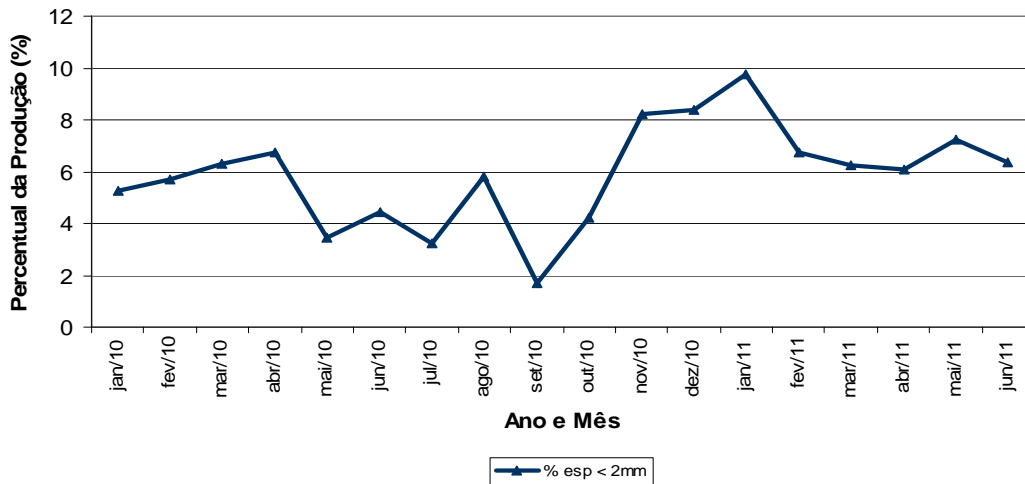


Figura 16 – Evolução da produção e participação de material com espessura abaixo de 2 mm.

5 CONCLUSÃO

O projeto permitiu a elevação do tamanho de instrução de forma sustentável, alinhado ao compromisso de melhoria contínua de produtos e processos do corpo técnico da AMT.

Até o estágio atual obteve-se uma elevação do tamanho de instrução da ordem de 30%, resultando em uma disponibilidade mensal de aproximadamente 5,2 horas a mais para produção. Isto gera um ganho da ordem de 6,6 milhões USD/ano.

Outro ganho expressivo deste trabalho é o aumento da capacitação técnica dos colaboradores envolvidos. O conhecimento gerado e compartilhado irá contribuir para a qualidade e agilidade das próximas etapas tanto deste como em outros trabalhos.

REFERÊNCIAS

- 1 BARBOSA G. M.; DORNELAS, F. C.; ROQUE C. M. O. L. Adequação do Sistema de Controle de Coroa e Planicidade ao Novo Ritmo de Produção do LTQ da ArcelorMittal Tubarão. In: SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO, PROCESSOS E PRODUTOS LAMINADOS E REVESTIDOS, 47., 2010, Belo Horizonte: ABM, 2010.
- 2 DORNELAS F. C.; VOLPATO, L. F.; GORZA W.; MOREIRA, A. C.; OLIVEIRA, J. M; BISSOLI, A. R. Rating-up da fase de ampliação da capacidade do laminador de tiras a quente da ArcelorMittal Tubarão. In: SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO, PROCESSOS E PRODUTOS LAMINADOS E REVESTIDOS, 47., 2010, Belo Horizonte: ABM, 2010.
- 3 MURAD B. *et al*; “Desenvolvimentos de Cilindros do LTQ na ArcelorMittal Tubarão: Novos Materiais e Extensão das Campanhas de Laminação”; 45º Seminário de Laminação da ABM, Porto de Galinha, Brasil, 21 a 24 de Outubro de 2008.
- 4 MURAD B. *et al*; “High Speed Steel Work Roll Implementation at the CST Hot Mill”, Steel Rolling Conference 2006, Association Siderurgique de la Sidérurgie Française (ATS). Paris, França, 19 a 21 Junho 2006.
- 5 MURAD B *et al*; “A Oficina de Cilindros da CST: Evolução, Perspectivas e Parcerias”, 15ª Conferencia de Laminación, Instituto Argentino de Siderurgia (IAS), San Nicolas, Argentina, 3 a 5 de Novembro de 2004.