

# EVOLUÇÃO DO ACERTO DE ESPESSURA DE BOBINAS LAMINADAS A QUENTE NA ARCELORMITTAL TUBARÃO\*

Bruno Bastos da Silva Murad<sup>1</sup>  
José Fagundes Jr.<sup>2</sup>  
Cleudson dos Santos Rego<sup>3</sup>  
Igor Barbosa da Silva<sup>4</sup>  
Luciano Milanez Mazz<sup>5</sup>  
Arnaldo Carneiro Salles<sup>6</sup>  
Paulo Roberto Caldeira<sup>7</sup>  
Denilson de Aquino Souza<sup>8</sup>

## Resumo

Desde o início de operação em 2002, o LTQ da ArcelorMittal Tubarão vem aumentando sua produção de bobinas, ao mesmo tempo em que o mercado demanda o desenvolvimento de novos produtos, mais resistentes e dimensionalmente complexos (menor espessura, maior largura). Considerada uma característica crítica para as aplicações, melhorias vêm sendo implementadas na ArcelorMittal Tubarão visando aumentar o acerto de espessura, reduzindo suas perdas internas ao mesmo tempo que atende às tolerâncias cada vez mais restritas contratadas pelos Clientes. Este artigo apresenta a evolução do acerto de espessura e a redução das perdas internas, relacionando melhorias implementadas no processo. Como resultado, houve um aumento geral na performance de espessura de aproximadamente 4,8%.

**Palavras-chave:** Laminação de Tiras a Quente; Acerto de Espessura.

## EVOLUTION OF HOT ROLLED COILS THICKNESS PERFORMANCE AT ARCELORMITTAL TUBARÃO

### Abstract

Since the startup in 2002, the Hot Strip Mill at ArcelorMittal Tubarão has increased gradually the coil output as the customers demand new and more resistant dimensionally challenging (thinner and/or wider) steel grades. As a critical feature for customer applications, improvements have been carried out aiming a higher thickness performance and reduction of internal losses while still meeting the more restrict tolerances booked by the customers. This paper presents the recent evolution of thickness performance, the reduction of internal losses and the main actions deployed. As a result, the overall thickness performance increased approximately 4,8%.

**Keywords:** Hot Rolling; Thickness Performance.

<sup>1</sup> Engenheiro de Materiais, MSc., Especialista de Controle de Processo, Gerência de Controle de Processo de Produção de Bobinas a Quente e Acabamento de Produtos (IAQ), ArcelorMittal Tubarão, Serra, ES, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Metalurgista, MSc., Especialista de Controle de Processo, Gerência de Controle de Processo de Produção de Bobinas a Quente e Acabamento de Produtos (IAQ), ArcelorMittal Tubarão, Serra, ES, Brasil.

<sup>3</sup> Engenheiro de Produção, Especialista de Controle de Processo, Gerência de Controle de Processo de Produção de Bobinas a Quente e Acabamento de Produtos (IAQ), ArcelorMittal Tubarão, Serra, ES, Brasil.

<sup>4</sup> Técnico Metalúrgico, Supervisor de Laminação de Tiras a Quente, Gerência de Área de Operação de Laminação de Tiras a Quente (IABL), ArcelorMittal Tubarão, Serra, ES, Brasil.

- <sup>5</sup> *Engenheiro Eletricista, MSc., Especialista em Automação, Gerência de Área de Automação de Processos (PTAP), ArcelorMittal Tubarão, Serra, ES, Brasil*
- <sup>6</sup> *Engenheiro Mecânico, Especialista de Confiabilidade – Trem Acabador, Gerência de Produção de Bobinas (IAB), ArcelorMittal Tubarão, Serra, ES, Brasil*
- <sup>7</sup> *Técnico Mecânico/ Bacharel em Administração, Assistente Técnico de Confiabilidade – Trem Acabador, Gerência de Produção de Bobinas (IAB), ArcelorMittal Tubarão, Serra, ES, Brasil*
- <sup>8</sup> *Engenheiro Mecânico, Especialista de Controle Integrado de Qualidade, Gerência de Área de Metalurgia (IIMM), ArcelorMittal Tubarão, Serra, ES, Brasil*

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 O Laminador de Tiras a Quente da ArcelorMittal Tubarão

O Laminador de Tiras da Quente da ArcelorMittal Tubarão foi inaugurado em Agosto de 2002. Em sua configuração inicial, apresentava uma capacidade nominal de 2,8 Mt/ano, aumentada em 2009 para 4,0 Mt/ano com a instalação do 2º forno de reaquecimento de placas.

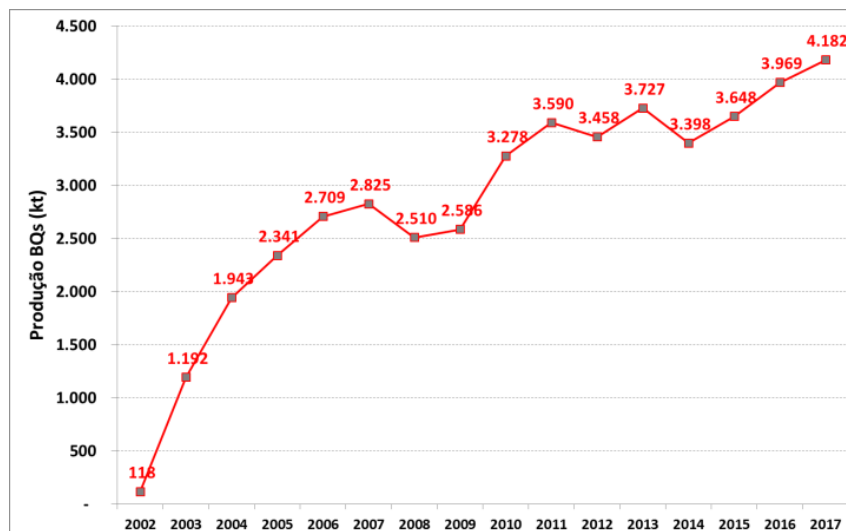


Figura 1. Evolução da produção de BQs na ArcelorMittal Tubarão

Em sua configuração atual, o LTQ da ArcelorMittal Tubarão (Figura 2) é constituído por:

- 2 Fornos tipo *walkingbeam* (400 t/hora cada)
- 1 Laminador Vertical (2 x 1500 kW = 3000 kW)
- 1 Laminador Desbastador 4-High reversível (2 x 7500 kW = 15000 kW)
- 1 Coil Box para laminação de materiais críticos
- Trem Acabador contínuo com 6 cadeiras 4-High (6 x 8000 kW = 48000 kW)
- Laminar Flow
- 2 Bobinadeiras Hidráulicas

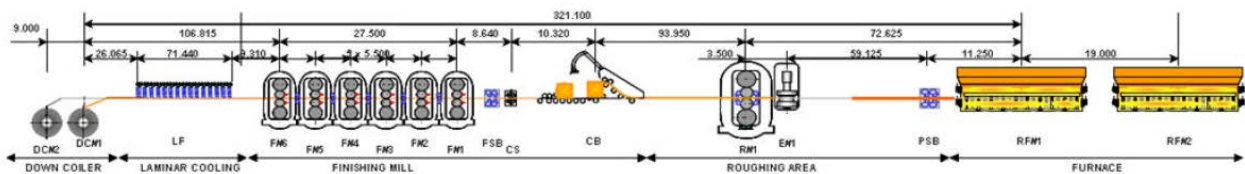


Figura 2. Leiaute do LTQ na ArcelorMittal Tubarão

Após o bobinamento, as BQs são transportadas através de um sistema de *loop cars* até os pátios de resfriamento, seguindo para despacho ou processamento no Laminador de Acabamento (Hot SkinPassLine) ou nas Linhas de Tesoura ou Amostragem. Complementam o complexo uma Estação de Tratamento de Água (ETA) dedicada e a Oficina de Cilindros, responsável pela retificação, usinagem e fresagem de cilindros inspeção e manutenção de mancais.

O portfólio de produtos inclui Aços *IFs* e Ultra Baixo Carbono, *APIs*, Alta Resistência com Baixa Liga, *Dual Phase* e os mais recentes *Advanced High Strength Steels – AHSS* em espessuras entre 1,5 e 19,0 mm e larguras entre 700 e 1880 mm, com um peso máximo de 40 t por bobina.<sup>1</sup>

Considerando-se as aplicações, são contemplados os seguintes nichos<sup>1</sup>:

- Aços de qualidade comercial
- Aços de qualidade estrutural
- Aços de qualidade estrutural de boa conformabilidade
- Aços para tubos
- Aços para botijões e vasos de pressão
- Aços para estampagem
- Aços de qualidade estrutural resistentes à corrosão atmosférica
- Aços de qualidade estrutural naval
- Aços para oleodutos e gasodutos
- Bobinas de piso

## 1.2 O Controle de Espessura no LTQ

A espessura visada no LTQ é definida inicialmente no Nível 3 com base nos dados de pedido (espessura e tolerâncias), rotas subsequentes (Laminador de Acabamento, decapagem) e o corramento visado que compõem um conjunto de informações primárias denominado *PDI (Primary Data Input)*.

Ao valor definido acima, compensações relacionadas a desvios no corpo e aprendizados por tira ou por lote são adicionadas pelo Nível 2 (modelo matemático), estabelecendo a espessura de setup para a laminação.

Durante a laminação, funcionalidades no Nível 1 ajustam automaticamente o gap entre os cilindros de trabalho do Trem Acabador com base na diferença de força prevista *versus* real (*Automatic Gauge Control – AGC*) e na espessura real medida na saída da cadeira F6 (*AGC Monitor*), visando a obtenção da espessura visada. A Figura 3 ilustra o processo de definição e controle de espessura no LTQ.

O perfil de espessura é registrado por um medidor na saída da cadeira F6 pelo medidor multifunção (*Multifunction Gauge – MFG*), processado e julgado automaticamente em uma etapa chamada de *Coil Classify*, sendo possíveis os seguintes resultados (ver Figura 4):

- *Prime*: BQ aprovada sem desvios em relação às tolerâncias dos clientes
- *Recovery*: desvios restritos às extremidades, sendo a BQ desviada para tratamento nas Linhas de Acabamento
- *Hold*: BQ suspensa automaticamente e requer avaliação do Técnico de Inspeção ou Especialista de Qualidade

São avaliados os perfis medidos ao longo do comprimento total da bobina, tanto no centro (1/2 Largura) quanto próximo às bordas (40 mm). Quando desviadas para as Linhas de Acabamento, os Técnicos de Inspeção medem as bobinas, registrando os valores no sistema.

### 1.3 A Classificação dos Desvios por Espessura

Os defeitos por espessura podem ser classificados em 4 categorias:

- Excesso de Espessura (XE): a espessura medida ao centro da bobina está acima da tolerância superior do cliente
- Falta de Espessura (FE): a espessura medida ao centro da bobina está abaixo da tolerância inferior do cliente
- Falta de Espessura nas Bordas (EF): a espessura medida próximo às bordas da bobina está abaixo da tolerância inferior do cliente
- Espessura Irregular (EI): o perfil de espessura mostra variação periódica de grande amplitude – ainda que dentro das tolerâncias do cliente

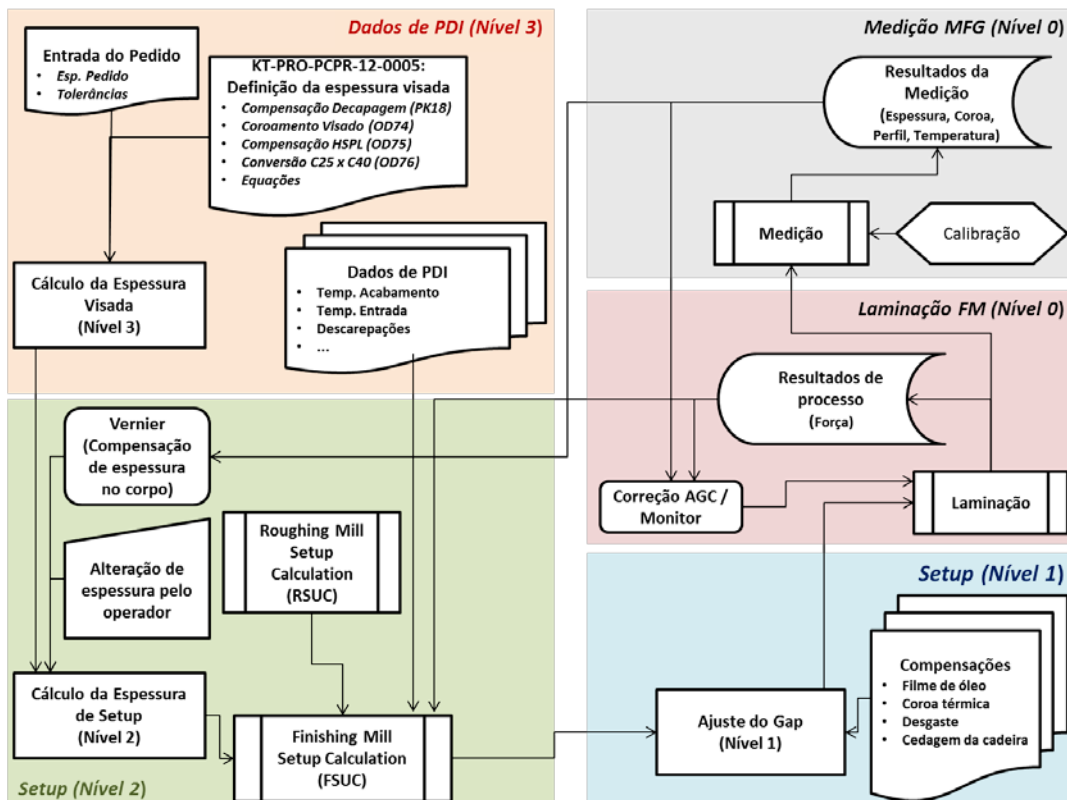


Figura 3. Mapa de processo para definição e controle da espessura no LTQ

Coil Classify										
Bobina	ESP	LARG	TB	TA	COROA	CUNHA	CUN/COR	PL	ESPCW40	
G601092	BQ	P	P	P	H	P	P	P	P	P
G601093	BQ	P	P	P	P	P	P	P	P	P
G601143	BQ	P	P	P	P	P	P	P	P	P
G601069	BQ	P	P	H	P	P	P	P	P	P
G601070	BQ	P	P	P	P	P	P	P	P	P
G601061	BQ	P	P	P	P	P	P	P	P	P
G601033	BQ	P	P	P	P	P	P	P	P	P
G601034	BQ	P	P	P	P	P	P	Y	P	P
G601032	BQ	P	P	P	P	P	P	P	P	P
G601012	BQ	P	P	P	P	P	P	P	Y	P
G601010	BQ	P	P	P	P	P	P	P	P	P
G601009	BQ	P	P	P	P	P	P	P	P	P
G601031	BQ	P	P	P	P	P	P	P	P	P
G601029	BQ	P	P	P	P	P	P	P	P	P
G601030	BQ	P	P	P	P	P	P	P	P	P
G601027	BQ	P	P	P	P	P	P	P	P	P
G601025	BQ	P	P	P	P	P	P	P	P	P
G601026	BQ	P	P	P	P	P	P	P	P	P
G601028	BQ	P	P	P	P	P	P	P	P	P

Figura 4. Julgamento automático das BQs (CoilClassify)

## 2 DESENVOLVIMENTO

Em 2017, as perdas por espessura correspondiam a um dos principais motivos de descartes e desclassificações, impactando os resultados de qualidade, rendimento e alteração de rota para retrabalho nas linhas de acabamento.

O comportamento do acerto de espessura\* pode ser visualizado na Figura 5, sendo o resultado de Maio / 16 impactado pela laminação em dummy na cadeira F5 entre Abril e Junho/16.

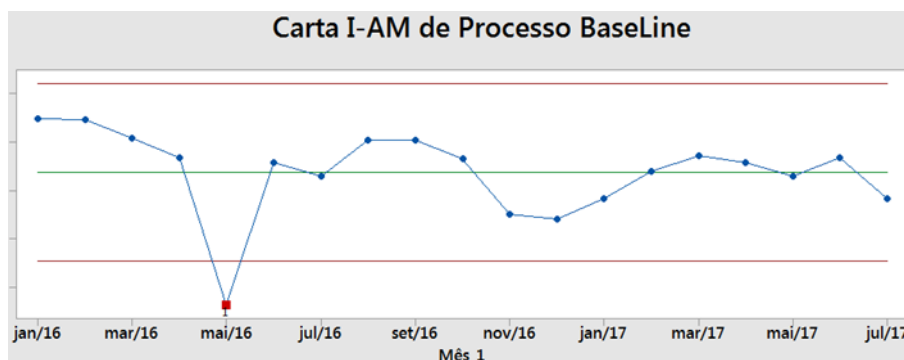


Figura 5. Carta de controle para o acerto de espessura conforme as tolerâncias de processo

Visando a melhoria da performance de espessura, considerando-se a faixa de processo, foram implementadas diversas seguintes melhorias, resumidas a seguir.

### 2.1 Intervenções mecânicas na cadeira F6

O ajuste do gap considera o módulo de elasticidade da cadeira (Figura 6), conforme o modelamento de cedagem da cadeira e do material<sup>2,3</sup>

$$h = C_0 + \frac{P}{K_S} \quad (1)$$

$$h = H - \frac{P}{K_M} \quad (2)$$

onde:

h = Espessura do material na saída da cadeira

H = Espessura do material na entrada da cadeira

C<sub>0</sub> = Gap inicial (sem carga) da cadeira

P = Força de laminação

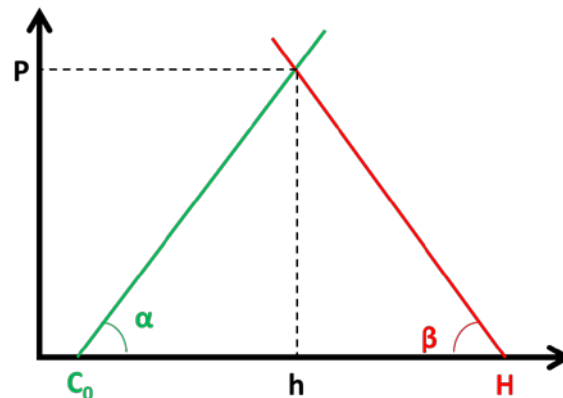
K<sub>S</sub> = Módulo de elasticidade da cadeira = tan $\alpha$

K<sub>M</sub> = Módulo de elasticidade do material = tan $\beta$

A inclinação da reta referente à cedagem da cadeira (verde) corresponde ao módulo de elasticidade da cadeira, cuja redução implica na obtenção do ponto de equilíbrio entre as retas da cadeira (Equação 1) e do material (Equação 2) em forças mais baixas, sendo a espessura de saída maior do que a prevista<sup>2</sup>.

\* O acerto mencionado ao longo deste artigo refere-se a todos os materiais e dimensões.



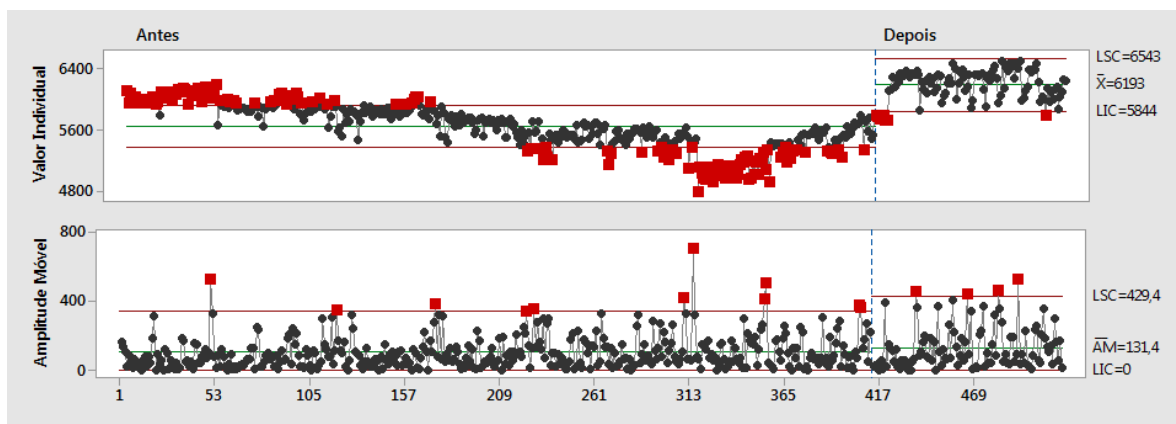


**Figura 6.** Diagrama esquemático para posicionamento inicial do gap

Com o desgaste do equipamento ao longo da laminação, observou-se uma redução do módulo de elasticidade da cadeira F6, havendo uma divergência entre os valores reais medidos durante os ensaios de Mill Stretch e o valor original considerado no sistema para ajuste inicial do gap. Na prática, com o valor real inferior ao de projeto, havia uma maior cedagem da cadeira em relação ao inicialmente calculado, provocando desvios de espessura implicando em valores acima das tolerâncias do cliente.

Durante a manutenção da Manutenção Programada em Maio/2017, foram realizadas intervenções mecânicas na cadeira F6 visando a normalização do módulo de elasticidade e a retomada dos valores iniciais de comissionamento (Figura 7):

- Usinagem da base da cadeira F6
- Substituição do trenó e dos componentes mecânicos



**Figura 7.** Normalização do módulo de elasticidade da cadeira F6 após as intervenções na Manutenção Programada de Maio/2017

Adicionalmente, foram revistos os padrões de acompanhamento dos resultados das curvas de Mill Stretch das cadeiras, assim como a frequência de realização dos ensaios.

## 2.2 Alteração dos parâmetros para cálculo de espessura visada

A espessura de setup do Trem Acabador é calculada pelos Níveis 2 e 3 com base em parâmetros do pedido (espessura visada, tolerâncias) e de processo (rotas seguintes, coroamento, etc...)

Para melhor acerto, foram realizadas modificações nos parâmetros de cálculo da espessura de setup, como coroamento visado, desvios no corpo e compensações por rotas seguintes.

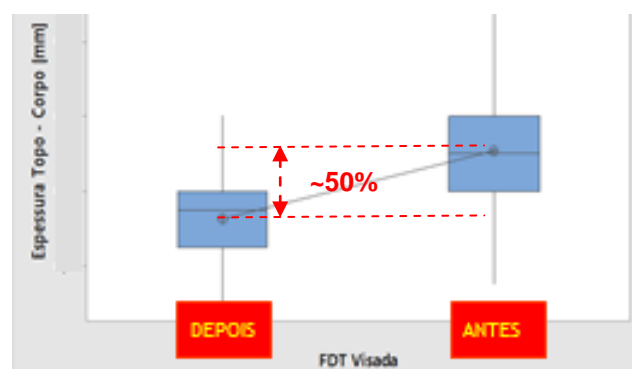
### 2.3 Adequação da Temperatura de Acabamento visada

Um item crítico no processamento é o compromisso entre as limitações da velocidade de mordida com foco na estabilidade do atravessamento do topo e a homogeneidade no perfil de temperatura de acabamento ao longo do comprimento da bobina; com as acelerações no Trem Acabador, nota-se em alguns casos uma elevação considerável de temperatura associada a uma queda na resistência, levando à saturação dos AGCs e à impossibilidade de adequação (Figura 8).



**Figura 8.**Efeito da variação da Temperatura de Acabamento sobre o perfil de espessura

Desta forma, foram revisados os valores visados de temperatura de acabamento de alguns materiais onde o erro se mostrava mais acentuado, havendo uma redução da ordem de 50% na variação do perfil de espessura em função da variação da temperatura de acabamento (Figura 9).

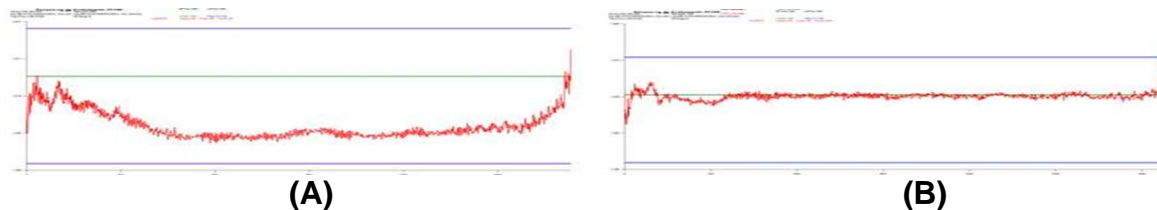


**Figura 9.**Redução da variação de espessura após adequação da Temperatura de Acabamento visada



## 2.4 Alterações dos parâmetros de correção do AGC / Monitor

Visando melhorar o acerto de espessura no corpo do material laminado, sem comprometer a estabilidade durante a mordida, foram otimizados os parâmetros de correção da espessura (velocidade de abertura e fechamento das cápsulas hidráulicas, limite integral de correção e limite máximo de correção por cadeira), sendo o resultado mostrado na Figura 10.



**Figura 10.** Efeito da otimização dos parâmetros de correção do AGC / Monitor sobre o perfil de espessura, mostrando os perfis antes (A) e depois (B) da modificação

Na Figura 10, observa-se que em toda a bobina a espessura caía no corpo, em alguns casos abaixo da tolerância inferior, causando a desclassificação da BQ uma vez que AGC parametrizado não conseguia compensar a variação de FDT causada pelo aumento de velocidade. Após a modificação, preserva-se a estabilidade do topo, região mais crítica da laminação, evitando a perda por espessura no corpo.

## 2.5 Gestão / Rotina

Além das modificações de processo acima mencionadas, com a aquisição de software específico para a criação de consultas a partir do banco de dados de processo, foram criados relatórios automáticos específicos exemplificados na Figura 11:

- Acertos de força e temperatura
- Número de iterações do cálculo
- Homogeneidade de temperatura na entrada e de acabamento
- Ocorrências de defeitos de espessura e estratificação por material / dimensões

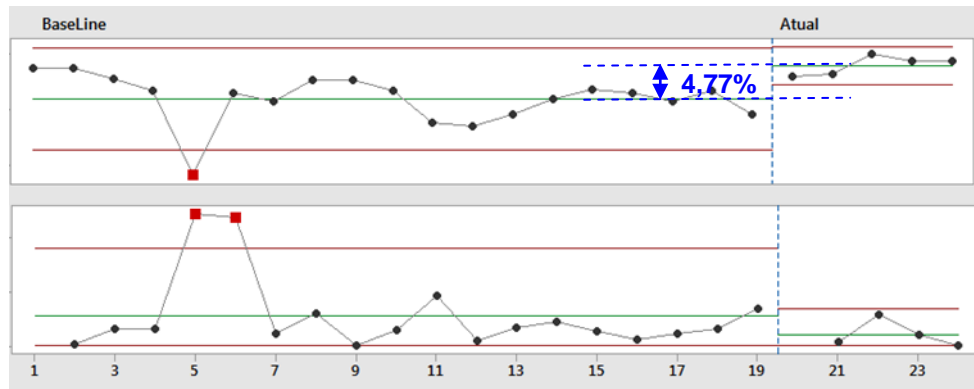


**Figura 11.** Exemplos de relatórios automáticos sobre indicadores de processo preventivos e reativos relacionados ao acerto de espessura

Também foram revisados os padrões operacionais de reação em caso de desvios de qualidade.

### 3 CONCLUSÃO

Após a implementação das melhorias, houve um aumento do acerto de espessura considerando as tolerâncias de processo quanto as de cliente (Figura 12). Houve um aumento de 4,77%.



**Figura 12.** Diferença entre os acertos antes e depois das modificações (Tolerâncias de Processo)

As perdas e desclassificações relacionadas à espessura foram reduzidas em aproximadamente 10%, quando considerados os resultados de 2017 e 2018.

### REFERÊNCIAS

<sup>1</sup> Catálogo de Produtos Laminados, ArcelorMittal Aços Planos América Latina – Brasil, 2015

<sup>2</sup> Ginzburg, V.; “High Quality Steel Rolling – Theory and Practice”; Marcel Dekker, Inc; New York, 1993. Capítulo 8, Pp. 162 – 164.

<sup>3</sup> 25<sup>th</sup> International Rolling Technology Course (Documentation) Industrial Automation Services Pty Ltd; Atenas, Grécia, 2005. Capítulo 20, Pp. 01 – 13.