

CONTROLE DE ESPESSURA DE BOBINAS DO NOVO LAMINADOR DE TIRAS A QUENTE DA USIMINAS¹

*Pedro Segundo da Silva Vallim²
Marcos Roberto Soares da Silva³
Sergio Funayama de Castro⁴*

Resumo

No ano de 2012, o Novo Laminador de Tiras a Quente da Usina de Cubatão cumpriu etapas fundamentais de partida de operação, comissionamento, testes de desempenho e expansão da mistura de produtos laminados. Atualmente, uma expressiva variedade de famílias de produtos e de dimensões, de alta qualidade é produzida para atender mercados distintos como o de estruturas, automobilístico e de tubos para indústria de petróleo, entre outros. A espessura das bobinas é um dos principais requisitos de qualidade da tira laminada a quente, exigindo do processo controles especiais para atendimento pleno às crescentes exigências do mercado. Neste trabalho, são apresentadas descrições fundamentais do controle de processo para obtenção da espessura ao longo do comprimento da tira laminada no Novo Laminador da Usiminas. Além disso, um resumo dos resultados alcançados e uma visão expectativas futuras são apresentados.

Palavras-chave: Laminador de tiras a quente; Modelo de *set-up* de laminador; Controle dinâmico de espessura.

THICKNESS CONTROL OF COILS FROM THE NEW HOT STRIP MILL 2 OF THE USIMINAS

Abstract

In the year 2012 the new Hot Strip Mill 2 (LTQ2) of the Cubatão plant complied key stages of starting operation, commissioning, performance testing and expansion of the mix of rolled products. Currently, a significant variety of sizes and product families of high quality is produced to meet different markets such as structural, automotive and tubes for the oil industry, among others. The thickness of the coils is a major quality requirements of the hot rolled strip, the process requiring special controls for fully satisfying the increasing demands of the market. In this paper, fundamental descriptions are given of control process for obtaining the target thickness within specifications along the length of the rolled strip, summary of results and future expectations.

Keywords: Hot strip mill; Model set-up of mill; Dynamic control of thickness.

¹ *Contribuição técnica ao 50º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 18 a 21 de novembro de 2013, Ouro Preto, MG, Brasil.*

² *Membro da ABM. Engenheiro Mecânico, MBA em Siderurgia, CQE, Especialista em Laminação a Quente da Usiminas-Cubatão, Cubatão SP, Brasil. E-Mail: pedro.vallim@usiminas.com.*

³ *Membro da ABM. Engenheiro Metalurgista, Gerente do Suporte Técnico da Laminação a Quente da Usiminas-Cubatão, Cubatão SP, Brazil. E-Mail: marcos.silva@usiminas.com*

⁴ *Membro da ABM. Engenheiro de Materiais, Engenheiro de Produção da Linha de Tiras a Quente 2 da Usiminas-Cubatão, Cubatão SP, Brazil. E-Mail: sergio.castro@usiminas.com*

1 INTRODUÇÃO

A melhoria do controle em laminadores de linhas de tiras a quente sempre motivaram grandes esforços dos fornecedores e operadores desses equipamentos na direção da maior produtividade e rendimento do processo com melhor qualidade dos produtos, que no caso específico deste trabalho são tiras laminadas a quente, na forma de bobinas.

Para atender às exigências atuais de produtividade e rendimento de processo, qualidade e variedade de produtos, no ano de 2012 foi concluída a montagem e testes da nova Linha de Tiras a Quente 2 (LTQ2) da planta da Usiminas Cubatão (UC), totalmente moderna, no estado da arte, levando para um alto patamar de desempenho e competitividade a missão de fornecimento de bobinas a quente.

Nesta atual fase inicial de expansão da nova linha, os principais equipamentos, são dados na sequência: um forno para reaquecimento de placas (*Walking-Beam Furnace*), um laminador Desbastador Reversível R2 (Horizontal R2 - *Rougher Mill 2*), um laminador de Bordas E2 (Vertical E2 - *Edger Mill 2*), um laminador Contínuo de Tiras a Quente (LTQ2 - *Hot Strip Mill 2*) com 6 cadeiras, um equipamento de Resfriamento de Tiras (*CTC – Coiling Temperature Control*) e 2 bobinadeiras (*Downcoilers*). Futuras fases de expansão contam com a possibilidade da adição de mais dois fornos, um conjunto de laminador de bordas e desbaste, cadeira F7 no LTQ e uma bobinadeira.

O objetivo deste trabalho é resumir tópicos conceituais dos sistemas de controle automático de operação do LTQ2 da UC, dedicados ao atendimento da espessura de tira visada, e um resumo de resultados obtidos dessa importante característica de qualidade da bobina a quente.

2 CONTROLE DE ESPESSURA NO SET-UP DO LTQ2

A Tabela 1 mostra uma lista resumida dos macro-modelos matemáticos previstos para o controle da dos laminadores da Linha de Tiras a Quente 2, e que rodam em nível-2, no ambiente de automação, definindo a previamente os parâmetros de ajuste, ou *set-up*, que são passados para o nível-1, no ambiente de controle elétrico, como uma referência inicial de posicionamento (*APC – Automatic Positioning Control*) dos equipamentos dos laminadores. No caso da espessura, abertura entre cilindros (*gap*) e velocidade dos mesmos em cada passe do LTQ2 são os parâmetros de *set-up* mais evidentes para o controle de espessura do topo da tira.⁽¹⁻³⁾

Tabela 1 - Modelos de Controle de Operação de Nível-2 dos Laminadores da Linha de Tiras a Quente 2

Item	Denominação
Modelo de <i>Set-Up</i> dos Laminadores de Bordas E2 e Desbastador R2	RSU (<i>Roughing Mill Set-Up Control</i>)
Modelo Dinâmico de Controle de Largura	AWC (<i>Automatic Width Control</i>)
Modelo de Transferência do Esboço para o LTQ2	HTT (<i>Hold Transfer Table Control</i>)
Modelo de <i>Set-Up</i> do Laminador de Tiras a Quente 2 (LTQ2)	FSU (<i>Finishing Mill Set-Up Control</i>)
Modelo Dinâmico de Controle da Temperatura de Acabamento da Tira	FDTC (<i>Finishing Delivery Temperature Control</i>)
Modelo de Perfil dos cilindros do R2	RROP (<i>Roughing Roll Profile</i>)
Modelo de Perfil dos cilindros do LTQ2	FROP (<i>Finishing Roll Profile</i>)
Modelos de <i>Set-Up</i> e Controle Dinâmico do Coroamento e Planicidade da Tira, dos Sistemas de <i>Bender</i> , <i>Pair-Cross</i> e <i>Shift Roll</i>	APFC (<i>Automatic Profile and Flatness Control</i>)

Conforme ilustrado na Figura 1, a execução dos programas dos modelos de nível-2, realizada pelos computadores de processo, ocorre em instantes específicos que correspondem à passagem da placa, esboço ou tira por uma ou mais etapas de seu processamento ao longo da linha.

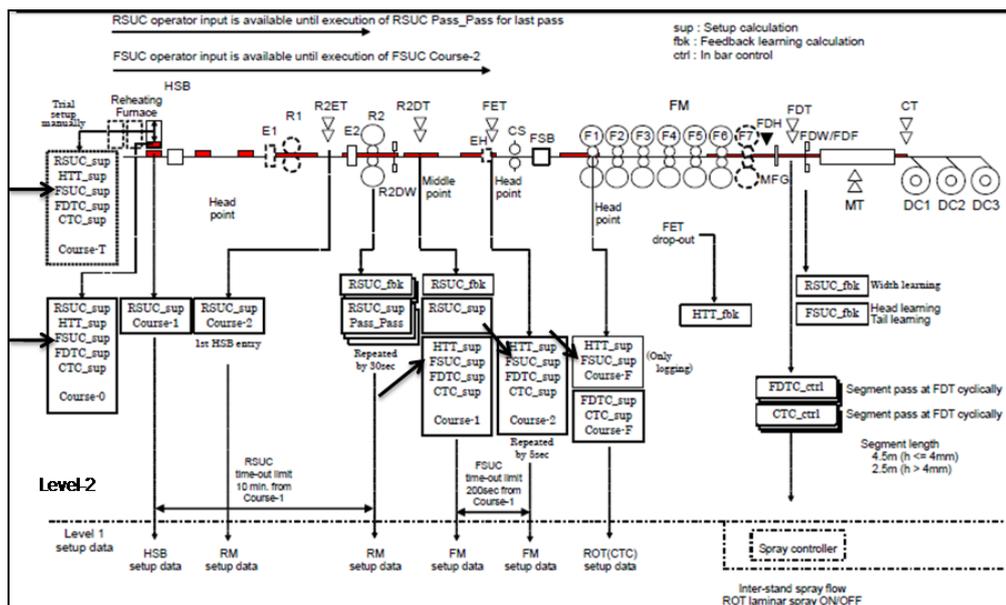


Figura 1 – Cursos de execução dos modelos de controle de operação, ao longo das etapas de processo, com setas destacando os cinco cursos do FSUC, de *set-up* do LTQ2.

Assim a cada chamado curso de execução de cálculo do modelo, são cumpridos objetivos de definições de *set-up*, geração de dados para suporte à execução de cursos de outros modelos, simulações ou simples geração de relatórios. Além disso, um curso repete ou pode repetir internamente vários ciclos de cálculo, quantos forem necessários para cobrir um determinado evento. Um exemplo típico é o que ocorre nos eventos de eventual oscilação do material em espera na entrada de um dos laminadores.

Há assim um intenso e constante fluxo de informações entre modelos distintos, em cursos comuns ou não comuns, interno ao ambiente de nível-2 ou importado do nível-1 e do nível-3 (ambiente corporativo de TI), seja para

atendimento da exigência de dados de entrada especificados e dados necessários para os cálculos dos modelos de controle, seja para o registro de resultados desses cálculos e medições.

O mix de produção de uma moderna linha de laminação a quente de planos é extremamente variado, seja em tipo de aço, sejam em dimensões. No caso do LTQ2 da UC, aços comuns C-Mn, de baixo médio e alto C, aços microligados HSLA (*High Strength Low Alloy Steel*) seja para aplicação estrutural ou em tubos API, aços ao silício resistentes à corrosão ou para fins elétricos, estes de laminação convencional austenítica e também ferrítica, além de aços baixíssimo carbono tipo ULC (*Ultra-Low-Carbon*), entre outros compõem o portfólio usual de produtos. Dimensões de produto variam desde espessuras extra-finas de 1.5 a extra-grossas de 20 mm, larguras estreitas de 750 a extra-largas de 2050 mm.

O tratamento dado pelas funções de cada modelo diante dessa ampla variedade de mix de materiais e dimensões é o de agrupamento em classes de famílias de aços, processos e dimensões, que funcionam como chaves de indexação de tabelas internas de parâmetros dos materiais, características de componentes e equipamentos, equações do modelo e respectivos fatores de adaptação ou de correção automática. O conteúdo destas tabelas é então utilizado em chamada a cada processamento do modelo de controle de *set-up* da tira.

A previsão de *set-up*, necessária para o APC de cada cadeira do LTQ2, principalmente antes da chegada da ponta inicial da tira na zona de contato com os cilindros, a cada cálculo de cada curso de execução do programa (*software*) de controle FSUC do LTQ2, é obtida observando-se o macro fluxo de definições, cálculos e checagens, conforme mostrado resumidamente na Figura 2.

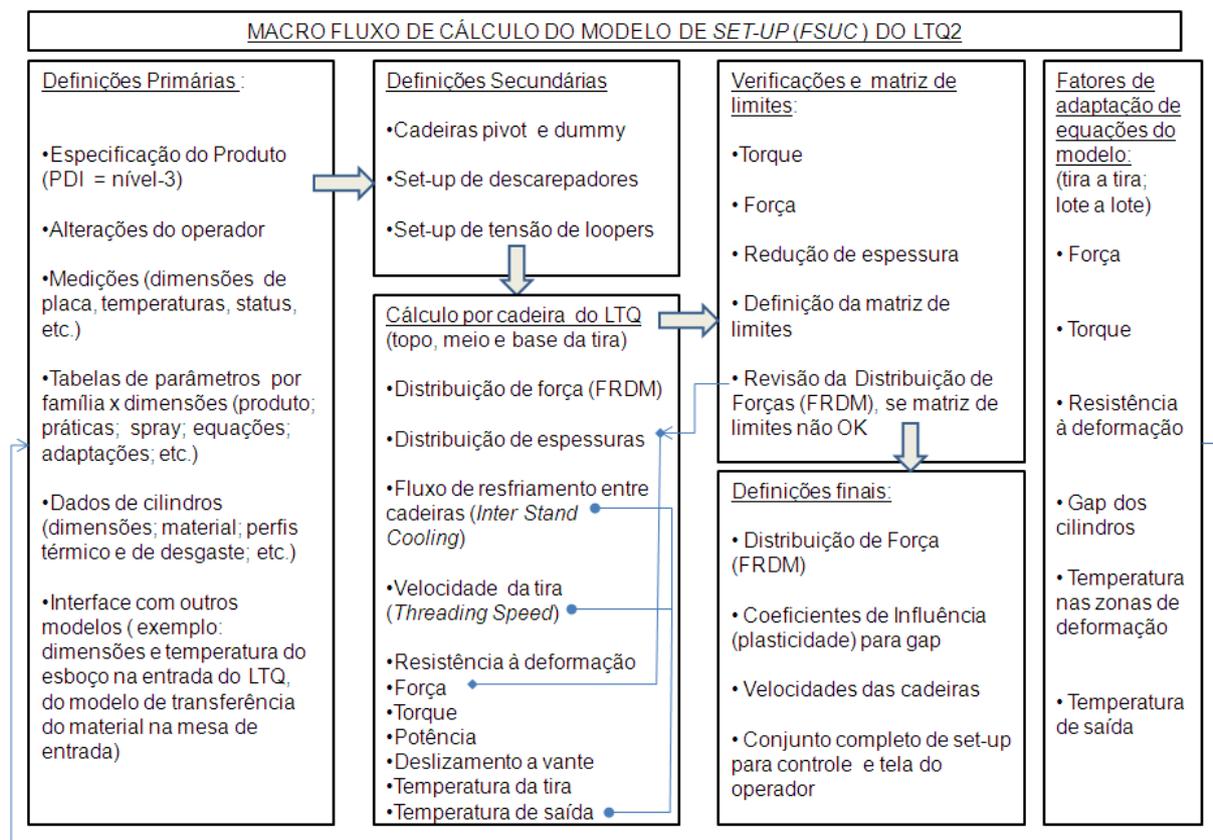


Figura 2 – Macro fluxo de cálculo do FSUC (*Finishing Set-Up Calculation*) do LTQ2.

Além de execuções do FSUC para o topo (*head-end*) da tira, de forma similar são cumpridos fluxos de cálculos também para o meio (*middle*) e o final da tira (*tail-end*), visando principalmente definições das velocidades e acelerações, necessárias para obtenção da temperatura visada de saída da tira, importante para a qualidade do produto e segurança operacional.

Com a captação automática de informações reais de dimensões, temperaturas, e forças entre outros, são calculados fatores de adaptação das equações do próprio modelo FSUC, que assim se autocorrige, conforme o caso a cada tira ou a cada lote futuro de processamento de materiais de mesma classe hierárquica. Este procedimento chave maximiza o grau de acerto do modelo de controle, permitindo entre outros resultados manter um excelente desempenho de espessura na ponta inicial da tira, com base em uma melhoria contínua da previsão de *set-up*, calculada antes da chegada da peça ao laminador.

2 CONTROLE DINÂMICO DE ESPESSURA DO LTQ2^{3,4}

Uma vez realizado o controle de espessura no topo da tira, principalmente pelo cálculo antecipado do *set-up* pelo modelo de nível-2, FSUC, descrito na seção anterior, é necessário realizar a tarefa de obtenção de espessura uniforme ao longo do comprimento total da tira.

Neste caso, informações em tempo real de força medida por células de carga de cada cadeira e da própria espessura medida por instrumentos de raio-X na saída do laminador possibilitam o controle dinâmico por retroalimentação, atualizando o *APC (Automatic Positioning Control)* de *gap* e velocidade das cadeiras, durante a passagem da tira pelo laminador, para manutenção da espessura visada.

Foge ao escopo deste trabalho uma descrição especializada desse que é um tópico extenso e dedicado de controle elétrico. Porém é possível visualizar de forma genérica um mapa os principais componentes por tipo de controle dinâmico de espessura *AGC (Automatic Gage Control)* do LTQ2 na Tabela 2.

Tabela 2 – Principais informações utilizadas nos blocos lógicos internos de cada tipo de controle dinâmico de espessura (AGC) do LTQ2

CONTROLE AUTOMÁTICO DE ESPESSURA DO LTQ2 (AGC)							
MÉTODO ==>		Gagímetro (Gagimetter) - seleção de um dos modos		Módulo de Rigidez (Mill Stretch) - seleção de um dos modos		Monitor (medição do desvio de espessura on-line) - seleção de um dos modos	
TIPO ==>		Absoluto (ABS-GM-AGC)	Lock-On (LKON-GM-AGC)	Absoluto (ABS-MM-AGC)	Lock-On (LKON-MM-AGC)	Integral	Com correção de Smith
COMPONENTES EXPRESSIVOS DO BLOCO DE CONTROLE	Referência de set-up de espessura	x					x
	Lock On da referencia de espessura		x				
	Referência de Set-Up de Força	x		x			x
	Cálculo da Referência de Cedimento Elástico (Stretch)	x					x
	Cálculo da Rigidez (Mill Streetch)	x	x	x	x		x
	Força de Bender	x	x	x	x		x
	Referência de gap			x	x		
	Compensação de Bender (WRB)	x	x				x
	Compensação de Cilindros Deslizantes (WR Shift)	x	x				x
	Compensação de Filme de Óleo de Mancais de Encosto	x	x				x
	Compensação de Expansão Térmica dos Cilindros	x	x				x
	Método de Smith (loop de controle)	x					x
	Medição de espessura por Raio-X (saída do Laminador)					x	x
	Ganho extra (extra-gain)					x	
	Efeito do Tempo de Transporte					x	
	Distribuição de Carga					x	
	Inibição de Excesso de Correção (Overshoot)					x	
Controle de Posição do Gap	x	x	x	x	x	x	
Funções adicionais	Controle de Redistribuição de Carga	x	x	x	x	x	x
	Compensação de redução (draft)	x	x	x	x	x	x
	Compensação de cauda (Tail End Compensation)	x	x	x	x	x	x

A utilização de um ou outro método de controle de AGC é realizada em nível-1 ou por seleção em telas de operação.

Há uma intensa interação entre o controle dinâmico AGC (nível-1) e o de *set-up* FSUC (nível-2). Por exemplo, o modelo FSUC fornece ao AGC informações fundamentais como as de força de laminação prevista no *set-up*, compensações de expansão térmica e desgaste de cilindros, de filme de óleo dos mancais, e coeficientes de influência da curva de plasticidade do material em laminação.

O princípio básico de controle dinâmico de espessura através do AGC é comumente reconhecido através do diagrama de controle operacional de uma cadeira de laminador, conforme esquematizado na Figura 3.

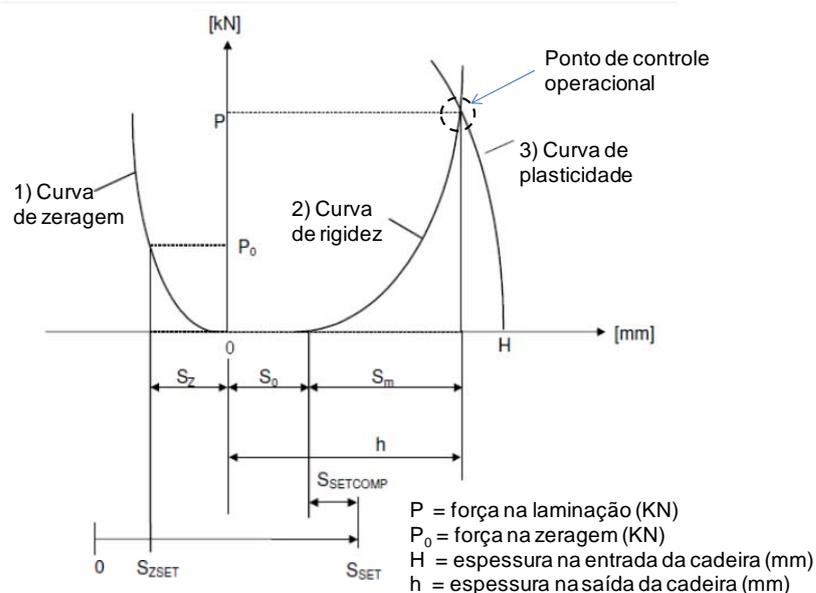


Figura 3 – Diagrama de controle operacional característica de uma cadeira de laminação, expressando relações de força (P , P_0) x espessuras (H , h), deformações e gap (S), utilizadas em tanto em modelos de *set-up* (FSUC) para obtenção da espessura no topo da tira, como no controle dinâmico de espessura (AGC) ao longo do seu comprimento total.

No diagrama são mostradas as seguintes curvas: (1) relação força x gap , realizada como calibração em condições padrão sem material entre cilindros, chamada curva de zeragem; (2) relação força x gap , na condição de laminação e conhecida como curva de rigidez do laminador; e (3) relação força x espessura da tira, ou curva de plasticidade característica do material laminado.

Entre trocas de cilindros de trabalho são atualizadas automaticamente as curvas de calibração ou zeragem de cada cadeira. As curvas de rigidez são renovadas com muito menor frequência em ensaios específicos, padronizados, nos qual é variado o gap no sentido de fechamento e abertura dos cilindros, e registradas as forças obtidas. Fatores de influência principalmente da largura de tira são adicionados então à equação da curva de rigidez para que seja obtida a sua configuração completa.

No caso da curva de plasticidade, dada a grande diversidade de produtos de diferentes aços e condições de processo, não é adequado nenhum ensaio prático. Porém, para cada tira em laminação, basta que se conheça o seu valor no ponto de operação para, dada uma espessura de entrada (H), se ter a espessura visada (h), na saída da cadeira, não sendo assim necessário o conhecimento do conjunto completo dos pontos. Para a obtenção da informação desse ponto de operação, o FSUC é processado com pequenas variações de espessura em torno do valor visado, num processo automático de simulação da força calculada, obtendo-se desta forma fator de influência de plasticidade $Q = \partial P / \partial h$, que permite a definição do ponto de operação do diagrama de controle. Todo o cálculo do fator de influência de plasticidade é executado pelo modelo FSUC, e passado para o nível -1, para seu uso pelo AGC.

A equação de gágimetro do AGC fornece a espessura calculada na saída da cadeira em função de vários parâmetros do diagrama de controle operacional, e de forma sucinta, ela pode ser expressa segundo a expressão:

$$h_{GM} = S_{GMCL1} - S_{GMC_FSUC} \cdot$$

A parcela S_{GML1} refere-se a parâmetros de posicionamento do *gap* com origem no nível-1, enquanto S_{GM_FSUC} corresponde a parâmetros similares calculados pelo modelo de *set-up* de nível-2, FSUC.

Genericamente, S_{GML1} depende de parâmetros que variam durante a laminação da tira: *gap*, deformação elástica da cadeira, compensações de diferenças de filme de óleo dos mancais, de força de bender, posicionamento de *shift* (cilindros deslizantes das cadeiras F5 e F6), desgaste e expansão térmica de cilindros, e excentricidade de cilindros.

De forma similar, S_{GML_FSUC} é fornecido pelo nível-2 como referências do topo da tira, na sua região de *set-up*, contendo parcelas correspondentes ao *gap* na zeragem, contribuições de filme de óleo dos mancais, de força de bender, de posicionamento de *shift*, da coroa inicial, do desgaste e da expansão térmica de cilindros, além do fator de adaptação ou aprendizado da equação do gagímetro.

Tal espessura h_{GM} virtual calculada é assumida como valor real na tira entre as cadeiras do LTQ, fornecendo ao AGC meio para minimizar a sua diferença em relação a valores de referência fornecidos pelo modelo de *set-up*, nos AGC's que utilizam o método de gagímetro, como o ABS-GM-AGC. Esse processo se repete em muitos pontos ao longo do comprimento do material durante sua laminação.

No caso do AGC monitor, a espessura real medida pelo instrumento de raio-x na saída do laminador é a principal referência de controle, com a correção mais rápida aplicada à última cadeira de laminação. Correções são também gradualmente aplicadas às cadeiras anteriores, mais distantes do medidor de espessura, desta forma respeitando-se considerações de potência, distribuição de carga e planicidade da tira, ou seja, condições de laminabilidade do material.

Apenas para ilustrar alguns pontos mencionados e específicos do amplo domínio relacionado ao controle dinâmico de espessura, as Figuras 4 e 5 mostram respectivamente gráficos conceituais do processo de formação de coroamento ou expansão térmica dos cilindros na laminação de tiras consecutivas, compensada no controle de AGC-ABS (absoluto), e o de inibição do excesso de correção de controle (*overshoot*), sendo este último uma das funções do AGC Monitor.

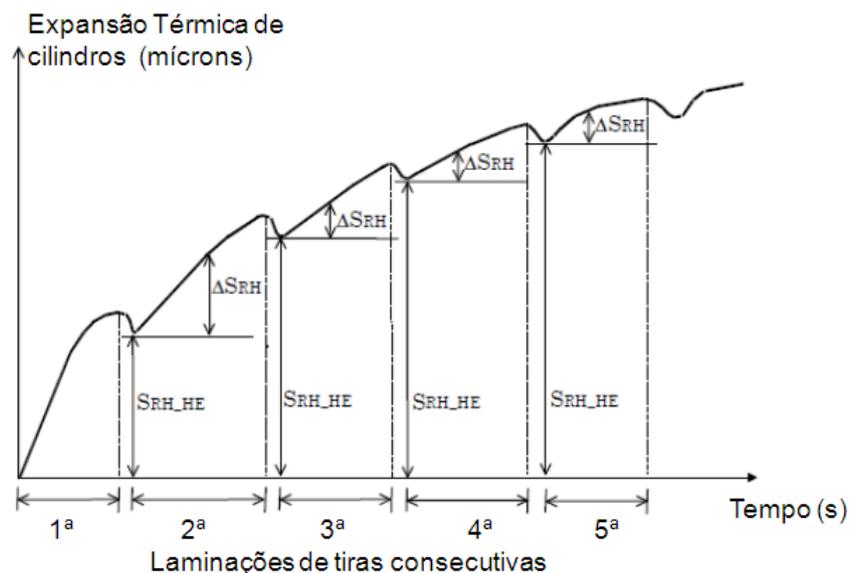


Figura 4 – Quantidade de expansão térmica dos cilindros de laminação com a laminação de tiras consecutivas (SR_{HE}) e durante a laminação de cada uma delas (ΔSRH), calculada pelo modelo de *set-up* do LTQ, FSUC, e compensada e em blocos de controle de vários AGC's.

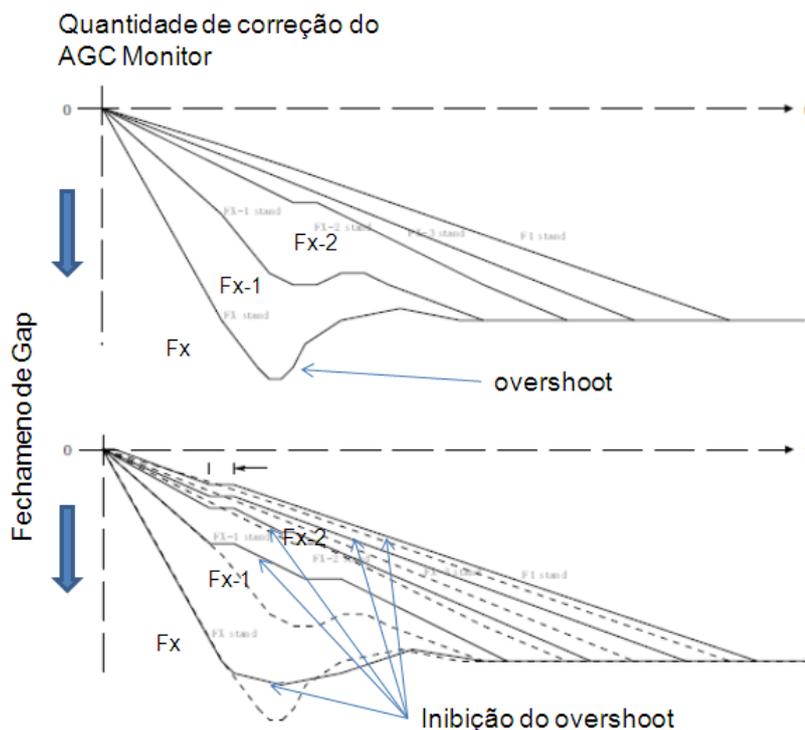


Figura 5 – Princípio da função de inibição de correção excessiva (*overshoot*) utilizada no bloco de controle do AGC Monitor.

3 RESUMO DE RESULTADOS DE ESPESSURA:

Nas seções anteriores foram mencionados temas centrais pertinentes ao controle de espessura na linha do LTQ2 da UC. Porém deve ser ressaltado que o funcionamento harmonioso de todos os processos de uma linha de laminação a quente contribuem para esse resultado. Por exemplo, também é importante o processo de aquecimento das placas nos fornos da linha, assim como o controle de tensões entre cadeiras do laminador.

Na Figura 6 são mostrados exemplos de cartas gráficas de espessuras de lotes distintos de famílias de aço e dimensões de materiais laminados no LTQ2 da UC. Nota-se em todos os exemplos o alto grau de precisão do resultado do desvio de espessura em relação ao valor nominal visado.

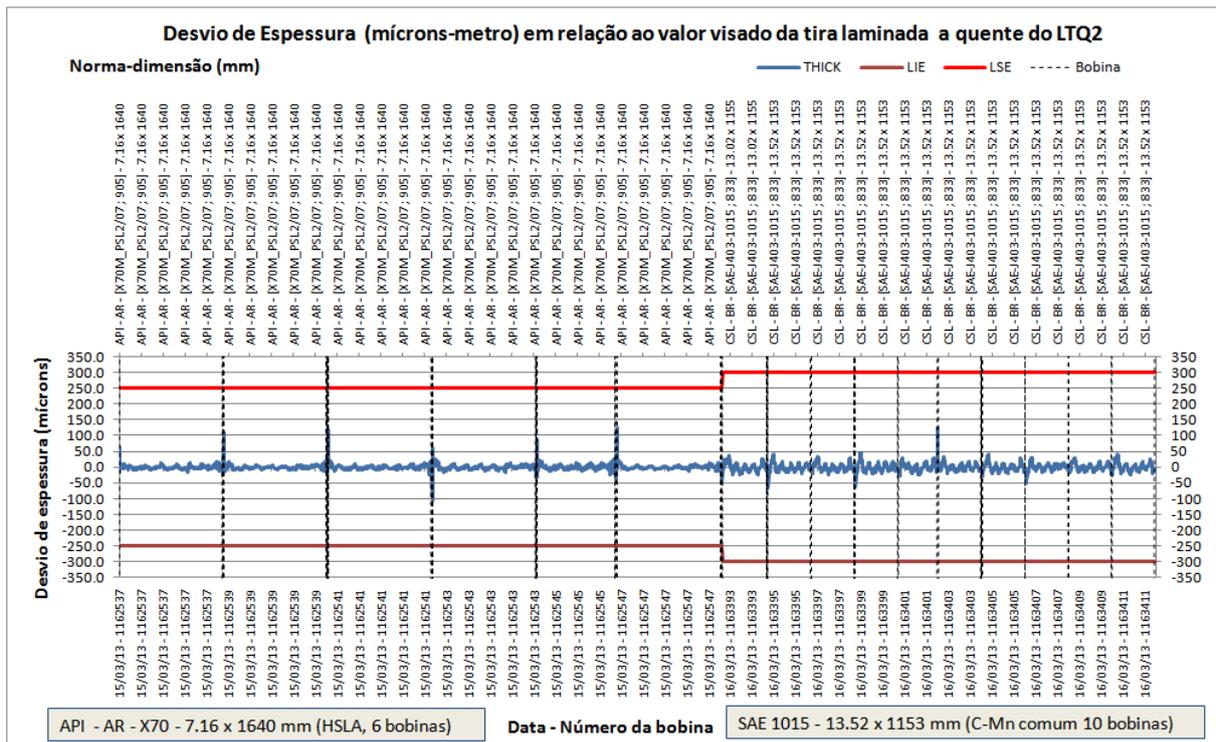


Figura 6 – Desvio de espessura obtida em relação ao valor nominal visado de 2 lotes distintos de bobinas laminadas no LTQ2: produto API X 70 para aplicação em tubos; e SAE-1015 de variadas aplicações, entre elas rodas automotivas.

Para uma referência usual, são mostrados limites de especificação das tolerâncias de espessura de revisões recentes das normas ASTM-568M-11^a,⁽⁵⁾ e ASTM-635M-2009b,⁽⁶⁾ respectivamente aplicadas a espessuras de produto abaixo e acima de 5.84 mm.

As medições de espessura são sempre referenciadas ao centro da largura da tira, ao longo do seu comprimento. Porém a garantia do cumprimento da tolerância de espessura ao longo da largura deve levar em conta o perfil de espessura ao longo dessa largura, ou coroa, em toda a extensão do comprimento da tira.

No LTQ2 da UC, essa garantia é dada por um sofisticado modelo *set-up* e de controle dinâmico da coroa de e planicidade denominado APFC (*Automatic Profile and Flatness Control*),⁽⁷⁾ de nível-2, que manipula dispositivos de força de bender nas cadeiras F1 a F6, cilindros cruzados (*pair cross*) nas cadeiras F1 a F4, e de cilindros deslizantes (*shift-roll*) nas cadeiras finais F5 e F6. Dessa forma é mantida em níveis de muito baixa variação as espessuras não só do centro da tira mas em toda a sua área, ou seja, também nas bordas e ao longo do comprimento da tira.

A Figura 7 mostra um exemplo de resultado de perfil de espessura de tira laminada a quente, evidenciando o alto grau de controle disponível. Com isso é garantida a espessura em toda a área da bobina.

Na Figura 8 é dada uma visão geral do acerto de espessura em relação às referências de normas ASTM, de mais de 15.000 bobinas laminadas no LTQ2, em quantidade estatisticamente significativa por classe de família e dimensões com performance já estabilizada.

Tendo esses resultados sido obtidos numa fase de comissionamento e expansão inicial do mix de laminados, num processo de estabilização de

desempenho das várias classes de famílias e dimensões, muitas delas processadas em primeira passagem, podem ser considerados em patamar de alta qualidade.

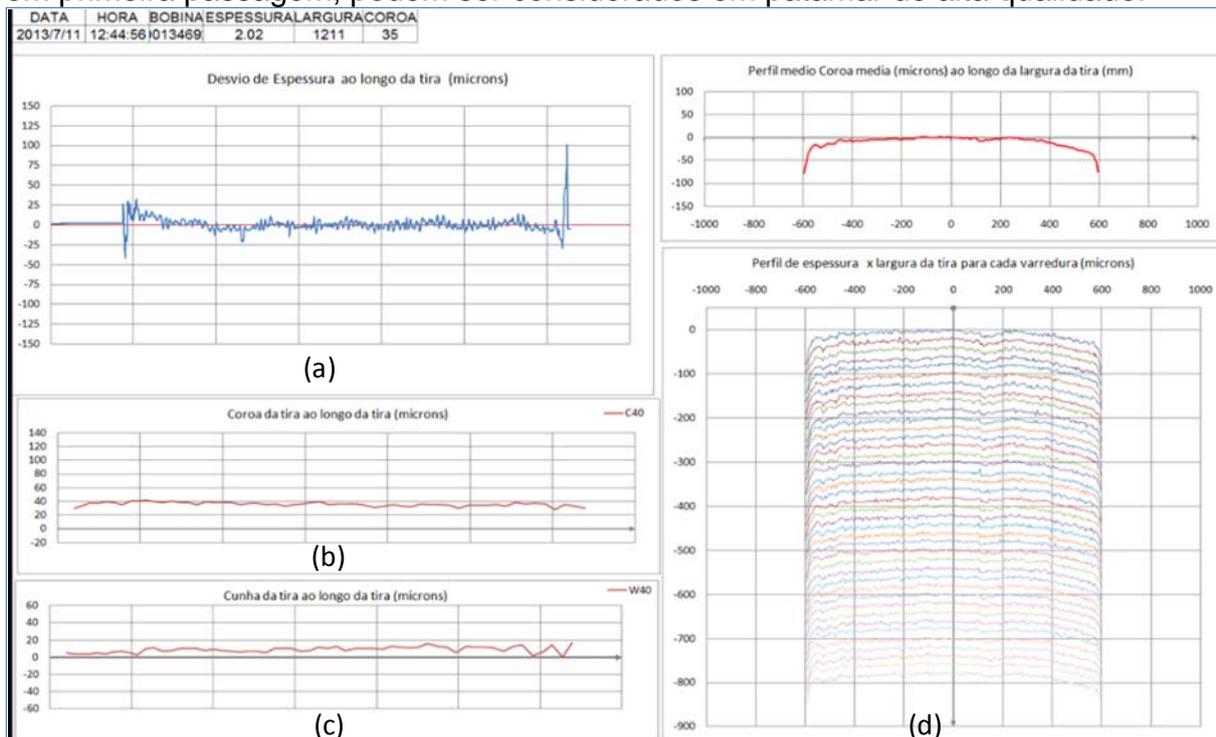


Figura 7 – Exemplo de resultado do controle do perfil de espessuras ao longo do comprimento e ao longo da largura da tira de 2.02 x 1211 mm: (a) espessura ao longo do comprimento; (b) coroa ao longo do comprimento; (c) cunha ao longo do comprimento; (d) perfil médio de espessuras ao longo da largura com varreduras individuais de perfis medidos ao longo do comprimento da tira.

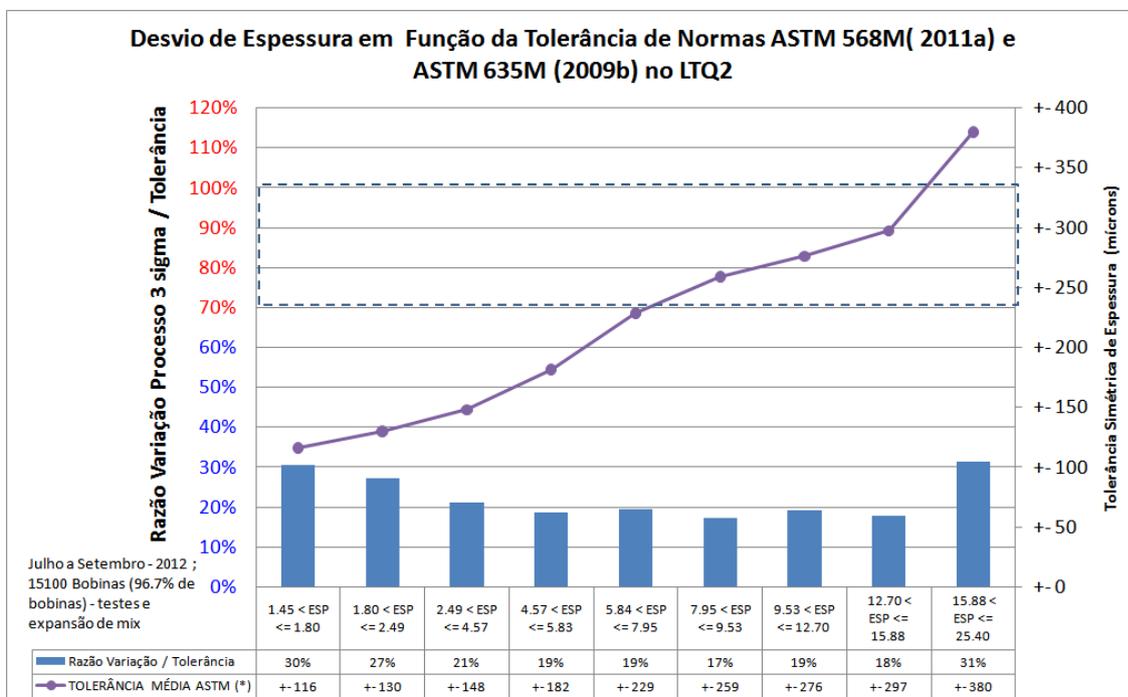


Figura 8 – Acerto de espessura em relação às tolerâncias de normas ASTM, por classe de espessura de bobina laminada no LTQ2: razão de variação de espessura de 3 sigma pela tolerância de norma ASTM.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram descritas as linhas gerais e tópicos principais dos sofisticados modelos de controle de *set-up* e dinâmico, que são responsáveis pela obtenção de espessuras da tira laminada a quente, com qualidade, estabilidade operacional e atendimento de um mix abrangente tanto em termos de famílias de aços quanto de malha dimensional de produtos do LTQ2 da Usiminas Cubatão.

Os resultados de espessura foram evidenciados tanto em exemplos como em amostragem estatística do atendimento de tolerâncias dimensionais, comprovando excelente capacidade de processo, e conseqüente capacidade de atendimento dos mercados de bobinas a quente, mesmo aqueles que eventualmente demandem uma exigência mais restrita deste importante item de qualidade de laminados planos a quente.

REFERÊNCIAS

- 1 TSUGENO, Masashi; SEKIGUCHI, Kunio; ANBE, Ysohiharu. Application of an On-Line Schedule Calculation Based on Roll Force Ratio Distribution. Journal of the JSTP, vol 37 no 437, November-1996.
- 2 TSUGENO, Masashi; OHARA Kazuhiro; Commom Description of Model Funcions – Manual reservado da Toshiba-Mitsubishi, Fevereiro-2010, 118 p.
- 3 TSUGENO, Masashi; OHARA Kazuhiro; Finishing Mill Set-Up Calculation – Manual reservado da Toshiba-Mitsubishi, Fevereiro-2010, 171 p.
- 4 SABLİK , Gomez; Functional Description of the Automatic Gage Control (AGC) – Manual reservado da Toshiba-Mitsubishi-GE, Junho-2009, 53 p.
- 5 A568/A568M -11a - Standard Specification for Steel, Sheet, Carbon, Structural, and High-Strength, LowAlloy, Hot-Rolled and Cold-Rolled, General Requirements for - Copyright ©ASTM International. 100 Barr HarbOf.Drive,.,PO BoxC7.00;.West Conshohocken. PA 19428-2959, United States. USIMINAS - PGC. WI124808 2011/613017:6:17 GMT
- 6 A635/A635M – 09b - Standard Specification for Steel, Sheet and Strip, Heavy-Thickness Coils, Hot-Rolled, Alloy, Carbon, Structural, High-Strength Low-Alloy, and High-Strength Low-Alloy with Improved Formability, General Requirements for - Copyright (C) ASTM International, 100 Barr Harbor Dr., PO box C-700 West Conshohocken, Pennsylvania 19428-2959, United States - Jorge Luiz Garcia (USIMINAS - PSN) pursuant to License Agreement
- 7 YAMANE, M., Functional Description of APFC, Manual reservado da Mitsubishi-Hitachi, Fevereiro-2009, 269 p.