

# AUMENTO DO RENDIMENTO METÁLICO DO LAMINADOR ATRAVÉS DE ALTERAÇÕES NO PROCESSO DE RESFRIAMENTO E DE REVISÕES NO CRITÉRIO DE LIBERAÇÃO DO VERGALHÃO CA50 ANTES E APÓS ENDIREITAMENTO<sup>1</sup>

Daniel Mesquita Duarte<sup>2</sup>  
Davidson da Silva Martins<sup>3</sup>  
Eduardo Lisboa Corrad<sup>4</sup>  
Marina de Oliveira Furtado<sup>5</sup>  
Rafael Lopes<sup>6</sup>  
Rogério Ferreira Ribeiro<sup>7</sup>

## Resumo

O processo de tratamento térmico no Laminador a Quente tem como função garantir os processos de têmpera e revenimento da barra laminada, atingindo as propriedades mecânicas exigidas para o produto CA50 (vergalhão), conforme norma NBR 7480. Durante o processo de tratamento térmico, foi identificado um excesso no descarte de espiras nas extremidades da barra laminada para garantir a propriedade especificada para o produto em questão. Isto levava a uma perda metálica com impacto no rendimento metálico do laminador. O presente trabalho tem como objetivo apresentar as ações e os resultados obtidos com a redução da formação de espiras quentes e de transição e seu impacto na redução do descarte de espiras no Laminador a Quente.

**Palavras-chave:** Tratamento térmico; Laminador a quente; Espiras.

## INCREASE IN INCOME OF METAL MILL THROUGH CHANGES IN THE PROCESS OF COOLING AND REVIEWS ON CRITERION RELEASE BEFORE AND AFTER CA50 REBAR STRAIGHTENING

### Abstract

The heat treatment process in the hot rolling mill is to ensure the function of quenching and tempering processes of the laminated bar reaching the mechanical properties required for the product CA50 (rebar) as NBR 7480. During the heat treatment process, has been identified an excess discarded rings at the head and tails of bars to ensure yield strenght to the product in question. This led to a loss in income metal of the mill. This paper aims to present the actions and the results obtained by reducing the formation of hot and transition rings and its impact in reducing the discarded rings in the Hot Rolling Mill.

**Key words:** Heat treatment; Hot rolling mill; Rings.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 67<sup>o</sup> Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro de Manutenção, Votorantim Siderurgia, Brasil.

<sup>3</sup> Engenheiro de Processo, Votorantim Siderurgia, Brasil.

<sup>4</sup> Líder de Laminação, Votorantim Siderurgia, Brasil.

<sup>5</sup> Engenheira de Produtos e Processo, Votorantim Siderurgia, Brasil.

<sup>6</sup> Engenheiro de Processo, Votorantim Siderurgia, Brasil.

<sup>7</sup> Coordenador de Produção, Votorantim Siderurgia, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

O Laminador a Quente da Unidade de Resende na Votorantim Siderurgia, desde o Start up em setembro de 2009 apresenta perdas de rendimento metálico por causa do descarte excessivo de espiras no CA50. Isto ocorria em função da geração de espiras quentes e de transição no processo de tratamento térmico da barra nas caixas de água no laminador e da perda de limite de escoamento no processo de endireitamento das barras laminadas. Os problemas no tratamento térmico estavam relacionados ao tempo de resposta das válvulas de abertura e fechamento da água para tratamento da barra laminada, o que impactava diretamente na queda do limite de escoamento após endireitamento, atingindo valores de até 8 kgf/mm<sup>2</sup> na extremidade da barra. Com isso, era gerada uma grande perda de espiras descartadas nas extremidades da barra laminada em função dos resultados de propriedades mecânicas. Com base neste fato, a equipe definiu ações para redução da geração de espiras descartadas em excesso:

- Desenvolvimento de uma tabela dinâmica no tratamento térmico do laminador em modo manual;
- Implantação da tabela dinâmica no Morgan Enhanced Temperature Control System (METCS®);
- Levantamento e análise estatística de dados de composição química, parâmetros de processo de laminação e resultados de propriedades mecânicas do CA50 rolo e endireitado;
- Realização de testes controlados em campanhas de cada bitola de CA50 em rolo e após endireitamento;
- Validação e análise dos resultados dos testes, bem como caracterização do CA50 em rolo e endireitado;
- Revisão dos padrões e critérios vigentes de liberação do CA50;
- Validação do número de espiras não descartadas em função do novo critério de laminação;
- Implantação de monitoramento visual para propriedades mecânicas do CA50.

Com a realização deste trabalho obtivemos a redução do descarte de espiras no produto CA50 no processo de laminação a quente com a garantia de estabilidade do limite de escoamento na barra laminada e endireitada.

### 1.1 Objetivo

De acordo com o processo de decapagem mecânica utilizado pelo cliente e também dentro da Votorantim em seus processos internos, o trabalho teve por objetivo adequar a espessura e morfologia da carepa do fio máquina bitolas 5,50 mm e 6,35 mm aço baixo carbono, de acordo com referências técnicas de artigos e bibliografias, através de alterações no processo de resfriamento do produto na saída do laminador.

### 1.2 Revisão Bibliográfica

#### 1.2.1 Tratamento térmico

Para se prever a microestrutura formada, para uma dada condição de resfriamento, pode-se utilizar os diagramas TTT (Temperatura Tempo Transformação) e CCT (*Continuous Cooling Transformation*). No primeiro caso, o material é resfriado a uma dada temperatura e a transformação ocorre isotermicamente. Já nos diagramas

CCT, ocorre o resfriamento contínuo do material sendo, portanto, mais aplicável em processos industriais. A constituição destes diagramas é dependente, principalmente da composição química e do tamanho de grão do material, dentre outros fatores <sup>(1)</sup>. Exemplos destes diagramas encontram-se na Figura 1.

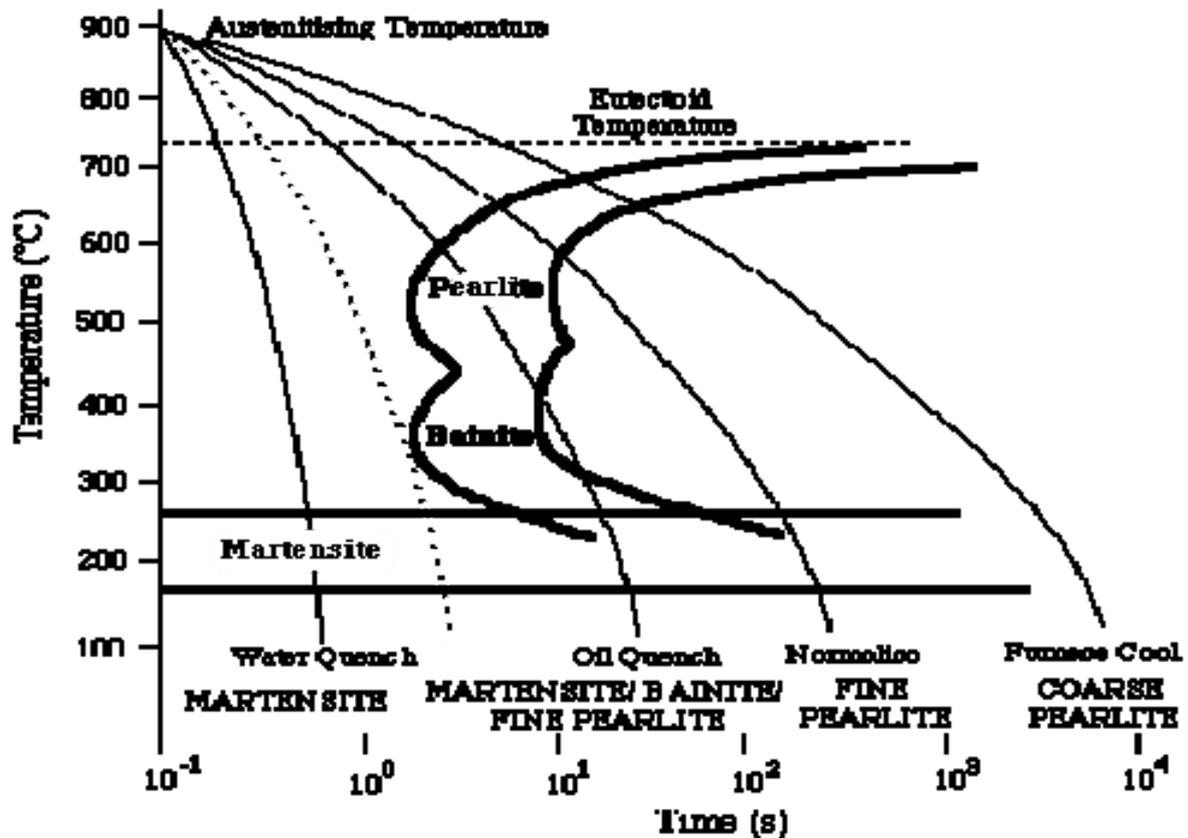


Figura 1 - Diagrama CCT para um aço eutetóide.<sup>(1)</sup>

Atualmente, os diagramas CCT são determinados através de uma base de dados pelo uso de dilatômetros. Após o resfriamento controlado no dilatômetro, é feita a análise metalográfica de cada amostra para determinar as transformações microestruturais ocorridas para uma determinada taxa de resfriamento. Como dito anteriormente, a taxa de resfriamento afeta diretamente o tempo de transformação. Além da taxa de resfriamento, os elementos de liga também influenciam no tempo de transformação, bem como as diferentes fases presentes durante o resfriamento. Um método simples para determinar os efeitos dos elementos de liga, é estabelecer se um determinado elemento estabiliza uma fase específica, como por exemplo, ferrita e austenita.<sup>(2)</sup>

Outra variável que tem um efeito na posição das curvas de transformação é o tamanho do grão austenítico, uma vez que, quanto maior o tamanho do grão, menor a área do contorno por unidade de volume comparado com um grão menor. A transformação da perlita e da ferrita é governada por sítios de nucleação que ocorrem no contorno do grão austenítico. Por tanto, quanto maior o número de sítios de nucleação, mais rápida a transformação ocorrerá, visto que será menor a distância para ocorrer a difusão do carbono para a austenita. Vale ressaltar que, a taxa de crescimento de grão aumenta significativamente com o aumento da temperatura.<sup>(3)</sup>

Nos aços, a martensita é considerada uma fase metaestável obtida através de um resfriamento brusco a partir do campo austenítico, sem difusão, mas por um cisalhamento da estrutura e expansão da rede da austenita, onde os grãos de martensita nucleiam e crescem a uma taxa de velocidade muito alta, próximo à velocidade do som. O tratamento térmico para obter a estrutura martensítica é conhecido como Têmpera. A martensita apresenta-se na forma de agulhas (Figura 2) em aços alto carbono e de ripas para baixo carbono.



**Figura 2** - Micrografia de martensita (agulhas) e austenita não-transformada (regiões claras) após resfriamento rápido (têmpera).<sup>(4)</sup>

A martensita é extremamente resistente, entretanto possui ductilidade bastante comprometida. Outra opção é o tratamento térmico de revenimento da martensita, através do aquecimento, que resulta em alívio de tensões e difusão do carbono para fora da rede tetragonal, podendo resultar na precipitação de carbeto, diminuindo os níveis de dureza e melhorando, substancialmente a ductilidade do material.<sup>(5)</sup>

No laminador da Votorantim Siderurgia é realizado o tratamento térmico de tempera e revenido, como será visto a seguir.

### 1.3 Processo de Tratamento Térmico do Laminador Morgan

O processo de têmpera e auto revenimento é um dos processos que são capazes de produzir aços de alta qualidade com baixo custo. Neste processo é possível obter uma alta taxa de resfriamento (aproximadamente 200°C/s) da região externa da barra através de um sistema de resfriamento com água logo após o último passe de laminação. Nesta etapa a barra encontra-se com a temperatura em torno de 1.000°C e através do resfriamento brusco, tem-se a transformação da austenita em martensita na região externa, enquanto que o núcleo permanece com austenita. Quando a barra passa do sistema de resfriamento com água, a camada martensítica é revenida pela dissipação do calor oriundo do núcleo devido ao gradiente térmico de temperatura. A Figura 3 ilustra curva do tratamento térmico de tempera e auto revenido utilizado na Votorantim Siderurgia.<sup>(6)</sup>

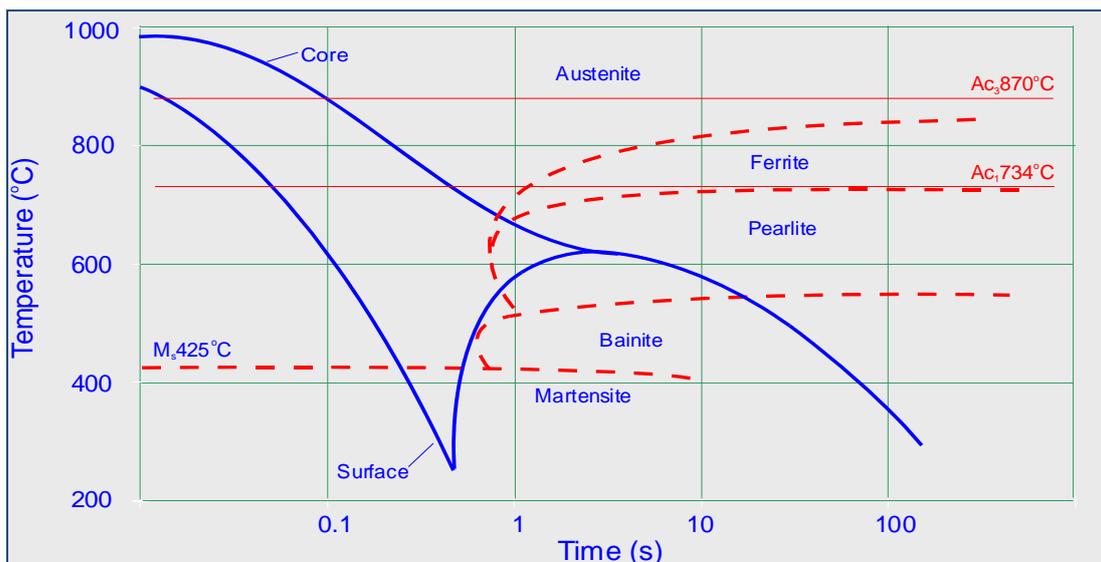


Figura 3 – Curva Tratamento Térmico de Tempera e Auto revenido Votorantim Siderurgia. <sup>(6)</sup>

A seção transversal de uma barra de aço (Figura 4) após este tratamento térmico contém um núcleo envolvido com uma camada espessa predominante de martensita da superfície até a zona de transição. A austenita no centro da barra irá resfriar até a região próxima ao nariz da temperatura de início da transformação perlítica, onde o resfriamento lento do núcleo até a temperatura ambiente, transformando a austenita em perlita e ferrita com uma granulação. Todo o tratamento térmico utilizado no Laminador da Votorantim é controlado pelo sistema METCS®.

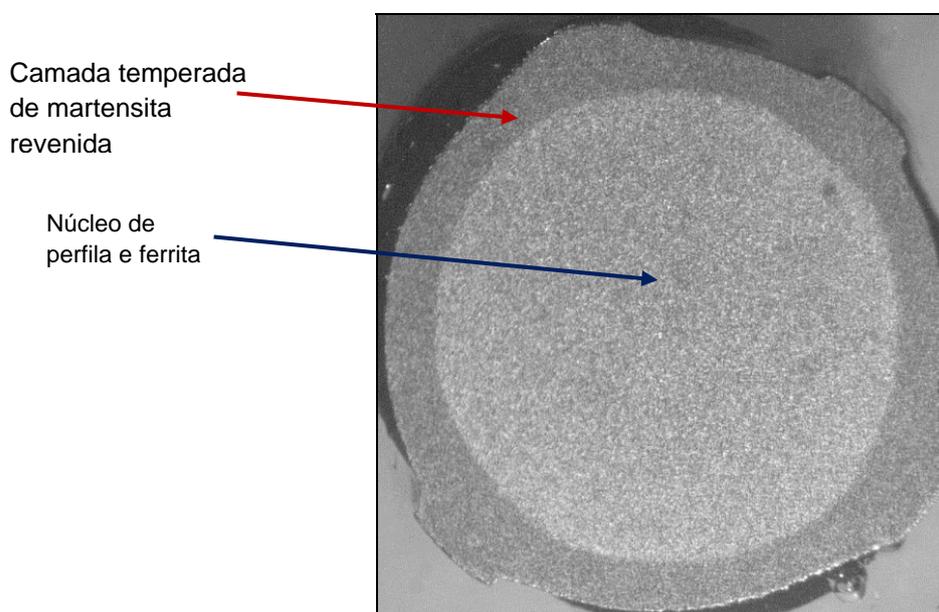


Figura 4 – Seção transversal de uma barra tratada termicamente através do controle do sistema METCS®. <sup>(6)</sup>

### 1.3.1 Descrição do morgan enhanced temperature control system (METCS®) <sup>(6)</sup>

O METCS® controla de forma efetiva o resfriamento da barra laminada até uma temperatura específica, e conseqüentemente as propriedades do metal. Este controle nas caixas d'água engloba tanto o acionamento de todas as válvulas solenóides e de modulação, quanto os sensores de pressão e vazão de água, além da temperatura da barra.

Cada caixa d'água utiliza nozzles especiais para reduzir a temperatura da barra com água a medida que a mesma passa pelo último passe de laminação. Através do controle de vazão da vazão de água que é aplicada a barra laminada que passa pelo nozzle, o METCS© possibilita o alcançar a temperatura desejada no produto na saída de cada zona de resfriamento.

As propriedades metalúrgicas de cada produto requerem diferentes perfis de temperaturas. O objetivo do METCS© é manter o perfil de temperatura ao longo de todo o produto com a variação mínima de temperatura.

O sistema HMI do METCS©, que faz a interface homem-máquina, possibilita o controle e monitoramento do METCS© permitindo aos operadores a visualização das temperaturas, dos status das válvulas e das taxas de vazão, além do modo de operação.

Existem três modos operacionais disponíveis para controlar a caixa d'água:

- TEMP - modo temperatura – Neste modo é possível ajustar uma temperatura nominal, e o METCS© controla automaticamente o fluxo de água para as caixas d'água, conforme necessário para atingir a temperatura especificada.
- Fluxo - modo de fluxo – Neste o valor a vazão é ajustada e o METCS© regula as válvulas caixa de água para atingir o valor o especificado. Usando as temperaturas do produto apresentado, então você pode ajustar o setpoint vazão conforme necessário para atingir a temperatura necessária.
- MAN - modo manual – Neste é feito o controle diretamente a posição de cada válvula do sistema.

Atualmente, o sistema de tratamento térmico da Votorantim Siderurgia Unidade Resende trabalha com as duas primeiras caixas de água em modo Vazão e com as duas ultimas em modo Temperatura. Como mostrado na Figura 5.

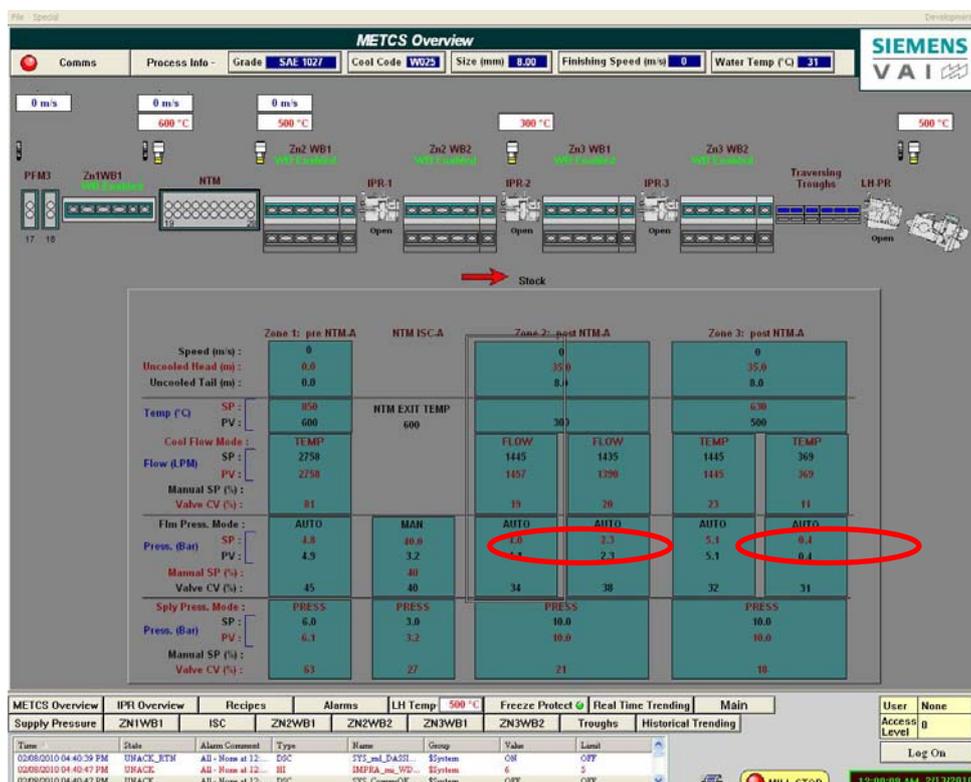


Figura 5 – Tela do sistema METCS ilustrando o modo vazão e modo temperatura utilizado no tratamento térmico de tempera e auto revenido.<sup>(6)</sup>

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS:

Os experimentos deste trabalho foram realizados no laminador da Votorantim na Unidade Resende, a fim de encontrarmos os parâmetros de processo do tratamento térmico do vergalhão CA50 necessários para obter características macroestruturais ideais para aplicação do produto com aumento do rendimento metálico do laminador.

### 2.1 Materiais

Para realização desta experiência a produção dos rolos de CA50 foi acompanhada, com registro da composição química, dos parâmetros de processos e a coleta de amostras controlada de forma a garantir o correto descarte de espiras e correta identificação das mesmas, que foram retiradas conforme Tabelas 1 a 4.

**Tabela 1** – Composição química do produto CA50 6,3 mm

COMPOSIÇÃO QUÍMICA – CORRIDA 4000006779 - SAP/R3 CA50 6,30 mm											
C	Si	Mn	S	P	Cu	Ni	Cr	Sn	Mo	Al	Nb
0,300	0,201	0,700	0,005	0,022	0,182	0,064	0,086	0,013	0,020	0	0
V	B	N	Ti	Pb	Zn	Ca	Ceq	B/N	Mn/Si	Mn/S	
0,003	0	122	0	0	0	-	0,457	-	-	-	

**Tabela 2** – Composição química do produto CA50 8,0 mm

COMPOSIÇÃO QUÍMICA – CORRIDA 4000006814 - SAP/R3 CA50 8,00 mm											
C	Si	Mn	S	P	Cu	Ni	Cr	Sn	Mo	Al	Nb
0,290	0,216	0,790	0,009	0,023	0,212	0,078	0,057	0,014	0,025	0,001	0,001
V	B	N	Ti	Pb	Zn	Ca	Ceq	B/N	Mn/Si	Mn/S	
0,004	0	102	0,001	0,001	0	-	0,462	-	-	-	

**Tabela 3** – Composição química do produto CA50 10,0 mm

COMPOSIÇÃO QUÍMICA – CORRIDA 4000008550 - SAP/R3 CA50 10,00 mm											
C	Si	Mn	S	P	Cu	Ni	Cr	Sn	Mo	Al	Nb
0,310	0,187	0,680	0,012	0,032	0,187	0,070	0,138	0,022	0,022	0,000	0,002
V	B	N	Ti	Pb	Zn	Ca	Ceq	B/N	Mn/Si	Mn/S	
0,0030	0,0109	0,001	0,002	0,0002	0,000	-	0,470	-	-	-	

**Tabela 4** – Numero de amostras retiradas dos produtos CA50

Produto	Corrida	Rolo		Barra	
		Cabeça	Cauda	Cabeça	Cauda
CA50 6,30 mm	4000006779	20	20	20	20
		20	20	20	20
CA50 8,00 mm	4000006814	20	20	20	20
		20	20	20	20
CA50 10,00 mm	4000008550	20	20	20	20
		20	20	20	20

#### 2.1.1 Descarte de espiras utilizado

Foram descartadas para o material CA50 6,30 mm 15 espiras na cauda e 25 na cabeça. Para o material CA50 8,00 mm o descarte utilizado foi de 15 espiras na

cauda e 20 na cabeça e para o material CA50 10,00 mm foram descartadas 15 espiras na cauda e 25 na cabeça.

### 2.1.2 Dados do processo de endireitamento

O material CA50 6,30 mm foi endireitado na Máquina KOCH- Velocidade 5m/s.

Obs. Durante o endireitamento houve muitas paradas devido ao processo que não estava estável.

O CA50 8,00 mm foi endireitado na Máquina EUROLLS – Velocidade 6m/s. Obs. O material foi endireitado normalmente sem muitas paradas.

O material CA50 10,00 mm foi endireitado na máquina KOCH – Velocidade 10 m/s. Obs. O Material foi endireitado normalmente sem paradas de processos.

### 2.2 Método

Devido ao fato das primeiras duas caixas de água após o bloco trabalharem com vazão constante (modo FLOW), por causa de deficiências no projeto, variações na velocidade e/ou temperatura da água de contato afetavam na qualidade do material. Foi desenvolvido um cálculo em uma planilha eletrônica onde com os dados de temperatura da água, velocidade do laminador e bitola que está sendo processada, são calculadas as vazões ideais para as duas caixas de água após o bloco. Para evitar erros humanos esta planilha eletrônica foi transformada em uma lógica no PLC fazendo com que estas modificações de vazão passassem a ser executadas de forma automática. Com esta automação foi observada uma outra oportunidade de melhoria, já que ocorriam erros de configuração das caixas de água além da dificuldade de configurar a vazão inicial das outras caixas de água que trabalham em modo TEMP. Desta forma foi realizada uma automação mais ampla, onde após ser transferida a receita da bitola a ser laminada no supervisor do laminador, o tratamento térmico é todo configurado para esta bitola, configuração esta que abrange: vazões iniciais de todas as caixas de água, configuração das 30 válvulas secundárias e valores de espiras quentes na cabeça e cauda das três zonas de tratamento térmico. Segue abaixo a Tabela utilizada como fonte de dados para o PLC.

		Valor Referência																				
Bitola(mm)	Zona 1				Zona 2 / Zona 3								Zona 1		NTM/ISC	Zona 2		Zona 3		Temp. água (°C)	Velocidade (m/s)	Temp. Formador(°C)
	Espiras Quentes - Cabeça		Espiras Quentes - Cauda		Espiras Quentes - Cabeça (2 primeiras peças)		Espiras Quentes - Cauda (2 primeiras peças)		Espiras Quentes - Cabeça		Espiras Quentes - Cauda		Caixa 1	Caixa 2		Caixa 1	Caixa 2					
	m	n° espiras	m	n° espiras	m	n° espiras	m	n° espiras	m	n° espiras	m	n° espiras	Vazão(lpm)	Temp. (°C)		Vazão(lpm)	Vazão(lpm)	Vazão(lpm)				
6,30	-14,00	-4,2	0,00	0,0	60,00	18,2	10,00	3,0	33,00	10,0	10,00	3,0	957	850	on(ligado)	1500	1100	340	OFF (DESLIG)	33	70	610
8,00	-16,00	-4,8	0,00	0,0	40,00	12,1	5,00	1,5	19,80	6,0	0,00	0,0	2500	850	on(ligado)	2000	2000	1220	510	32	70	590
10,00	-16,00	-4,8	0,00	0,0	16,50	5,0	5,00	1,5	16,50	5,0	0,00	0,0	2380	900	on(ligado)	3000	3000	640	510	30	50	590
12,50	-16,00	-4,8	0,00	0,0	0,00	0,0	10,00	3,0	0,00	0,0	10,00	3,0	1600	900	on(ligado)	2500	2500	1400	1100	32	34	590
16,00	-16,00	-4,8	0,00	0,0	-19,80	-6,0	30,00	9,1	-19,80	-6,0	30,00	9,1	948	950	on(ligado)	1500	1500	800	400	30	18	620
Pressão (bar) - Supply Pressure												6,80	4,00	12,00	10,00							
		Valor para partida																				
Bitola(mm)	Zona 1				Zona 2 / Zona 3								Zona 1		NTM/ISC	Zona 2		Zona 3		Temp. água (°C)	Velocidade (m/s)	Temp. Formador(°C)
	Espiras Quentes - Cabeça		Espiras Quentes - Cauda		Espiras Quentes - Cabeça (2 primeiras peças)		Espiras Quentes - Cauda (2 primeiras peças)		Espiras Quentes - Cabeça		Espiras Quentes - Cauda		Caixa 1	Caixa 2		Caixa 1	Caixa 2					
	m	n° espiras	m	n° espiras	m	n° espiras	m	n° espiras	m	n° espiras	m	n° espiras	Vazão(lpm)	Temp. (°C)		Vazão(lpm)	Vazão(lpm)	Vazão(lpm)				
6,30	-14,00	-4,2	0,00	0,0	60,00	18,2	10,00	3,0	33,00	10,0	10,00	3,0	963	850	on(ligado)	1510	1107	342	OFF (DESLIG)	31	75	610
8,00	-16,00	-4,8	0,00	0,0	40,00	12,1	5,00	1,5	19,80	6,0	0,00	0,0	2762	850	on(ligado)	2210	2210	1348	564	33	75	590
10,00	-16,00	-4,8	0,00	0,0	16,50	5,0	5,00	1,5	16,50	5,0	0,00	0,0	2132	900	on(ligado)	2688	2688	573	457	24	56	590
12,50	-16,00	-4,8	0,00	0,0	0,00	0,0	10,00	3,0	0,00	0,0	10,00	3,0	1650	940	on(ligado)	2578	2578	1444	1134	33	34	590
16,00	-16,00	-4,8	0,00	0,0	-19,80	-6,0	30,00	9,1	-19,80	-6,0	30,00	9,1	948	950	on(ligado)	1500	1500	800	400	30	18	620
Pressão (bar) - Supply Pressure												6,80	4,00	12,00	10,00							

Figura 6 – Tabela eletrônica utilizada como fonte de dados para o PLC.

Os parâmetros de processo utilizados na laminação para cada produto foram os da Tabela 5.

**Tabela 5** – Dados de processo utilizados na Laminação a quente

<b>Laminação</b>			
<b>CA50 8.0mm</b>		<b>CA50 10.0mm</b>	
<b>Corrida 400006814</b>		<b>Corrida 400008550</b>	
Temp. Forno	1.035°C	1.037°C	1.030°C
Temp. água	34°C	31°C	32°C
Temp. formador espiras	590°C	597°C	608°C
Temp. entrada bloco	840°C	840°C	847°C
Velocidade. Laminação	75m/s	56 m/s	75m/s
Ventilação Stelmor	6 X 100%	6 X 100%	6 X 100%
<b>Velocidade Stelmor</b>			
1º	64,2 m/min	64,2 m/min	40.0 m/min
2º	64,1 m/min	64,1 m/min	40.0 m/min
3º	64,2 m/min	64,2 m/min	45.6 m/min
4º	63,9 m/min	63,9 m/min	49.6 m/min
5º	64,1 m/min	64,1 m/min	49.7 m/min
6º	64,2 m/min	64,2 m/min	49.6 m/min
7º	64,2 m/min	64,2 m/min	49.7 m/min
8º	64,1 m/min	64,1 m/min	49.7 m/min
9º	74,2m/min	74,2m/min	55.0 m/min
10º	84,4 m/min	84,4 m/min	61,2 m/min

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

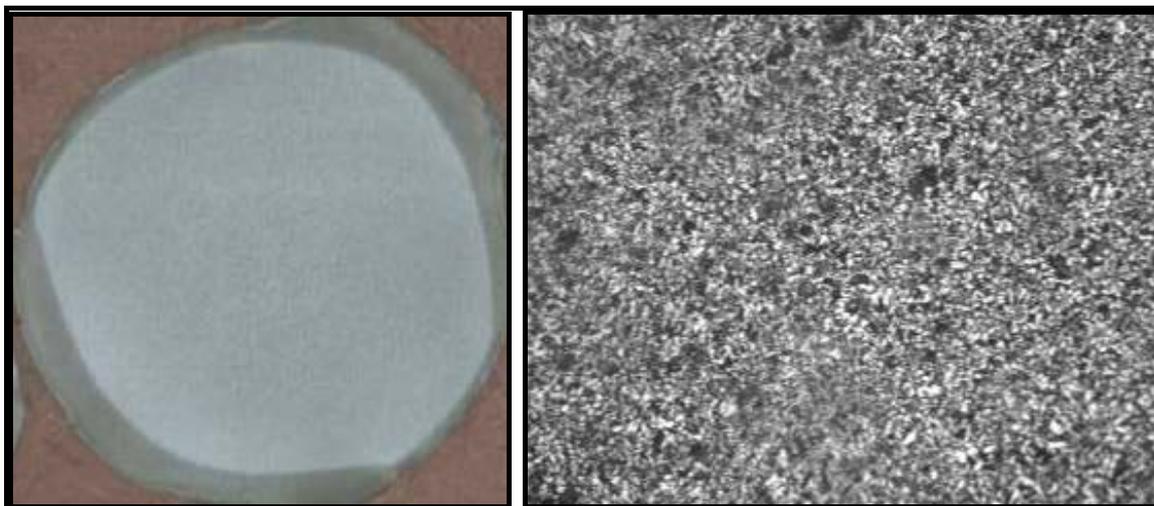
A partir dos parâmetros utilizados no processo de laminação a quente e endireitamento foram obtidos os seguintes resultados de propriedade mecânica e microestrutura para cada bitola:

**Tabela 8** – Resultados de propriedades mecânica obtidos no processo de laminação a quente e Endireitamento para o CA50 8,0 mm

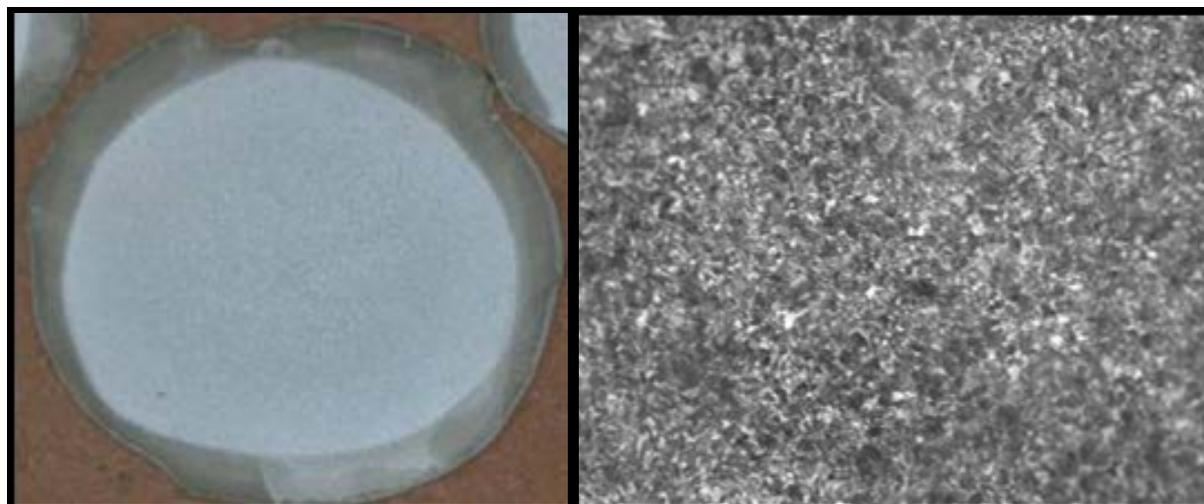
<b>Cabeça CA50 8,00 mm</b>			
	<b>Le kgf/mm<sup>2</sup> Rolo</b>	<b>Le kgf/mm<sup>2</sup> Barra</b>	<b>Barra-Rolo</b>
<b>Mínimo</b>	<b>56,90</b>	<b>62,20</b>	<b>1,87</b>
<b>Máximo</b>	<b>60,98</b>	<b>67,40</b>	<b>8,86</b>
<b>Média</b>	<b>59,08</b>	<b>64,70</b>	<b>5,62</b>
<b>Desv pad</b>	<b>1,10</b>	<b>1,53</b>	<b>1,95</b>

**Tabela 9** – Resultados de propriedades mecânica obtidos no processo de laminação a quente e Endireitamento para o CA50 8,0 mm

<b>Cauda CA50 8,00 mm</b>			
	<b>Le kgf/mm<sup>2</sup> Rolo</b>	<b>Le kgf/mm<sup>2</sup> Barra</b>	<b>Barra-rolo</b>
<b>Mínimo</b>	<b>58,77</b>	<b>62,10</b>	<b>-1,20</b>
<b>Máximo</b>	<b>64,27</b>	<b>72,10</b>	<b>8,84</b>
<b>Média</b>	<b>61,83</b>	<b>65,80</b>	<b>3,97</b>
<b>Desv pad</b>	<b>1,51</b>	<b>2,52</b>	<b>2,48</b>



**Figura 7** – Metalografia obtida do CA50 8,0 mm endireitado. À direita a micro com 10x de aumento e com ataque de nital 3%. À esquerda com aumento de 200% e ataque com nital 3%.



**Figura 8** – Metalografia obtida do CA50 8,0 mm endireitado. À direita a micro com 10x de aumento e com ataque de nital 3%. À esquerda com aumento de 200% e ataque com nital 3%.

## 4 CONCLUSÃO

### 4.1 Resultados Obtidos ao Longo do Estudo

**Tabela 10** – Relação dos resultados de propriedades mecânica obtidos no processo de laminação a quente e Endireitamento

BITOLA	LE MÉDIO Barra - Rolo		DESVPAD
	CABEÇA	CAUDA	MAIOR RESULTADO
CA50 6,30 mm	2,76	2,17	2,13
CA50 8,00 mm	5,62	3,97	1,95
CA50 10,00 mm	- 1,80	- 1,75	1,34

Os cálculos consideraram simultaneamente:

- Que o menor valor de LE na barra vai absorver a variação de LE no rolo com 95% de segurança
- Que a maior queda possível vai ser absorvida pelo LE do rolo.

Com a análise dos resultados do experimento conseguimos comprovar que de fato vergalhão CA50 sem camada temperada não atende o padrão de liberação do produto para propriedades mecânicas. Mas conseguimos revisar o critério de liberação do CA50 interno em função da avaliação da perda de propriedades mecânicas após endireitamento, onde o LE de liberação passou a ser de 52 kgf/mm<sup>2</sup> desde dezembro, considerando possível queda de até de 2 kgf/mm<sup>2</sup>.

A revisão do critério de liberação do CA50 para Limite de escoamento trouxe a redução de descarte de 40 espiras no CA50 6,30 mm, 30 espiras no CA50 8,00 mm e 25 espiras no CA50 10,00 mm, possibilitando um ganho de 1% no Rendimento Metalico.

## REFERENCIAS

- 1 UNIVERSITY OF CAMBRIDGE. Department of Materials Science & Metallurgy. Disponível em: <<http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/2000/practicals/AP3/AP3.html>>.
- 2 M. MEYERS E K. CHAWLA, Mechanical Behavior of Materials. Cambridge University Press, Nova Iorque, 2008
- 3 A. F. PADILHA E P. R. RIOS, *Transformação de Fases*. Editora Artliber, São Paulo, 2007
- 4 W. D. CALLISTER JR., *Ciência e Engenharia de Materiais: uma abordagem integrada*. LTC EDITORA, Rio de Janeiro, 2006
- 5 A. L. V. COSTA E SILVA E P. R. MEI, *Aços e Ligas Especiais*. EDITORA EDGARD BLÜCHER, São Paulo, 2006.
- 6 MORGAN CONSTRUCTION COMPANY Manual Morgan Votorantim; Water Boxes Processing; Resende, 2009