

# DESENVOLVIMENTO DE CHAPAS GROSSAS COM TRIPLA LARGURA <sup>1</sup>

Jackson Soares de Souza Reis<sup>2</sup>  
Leonardo Michelletti Jr.<sup>3</sup>  
Antonio Augusto Gorni<sup>4</sup>  
Carlos Noberto Paula da Silva<sup>5</sup>  
Celso Gomes Cavalcanti<sup>6</sup>

## - RESUMO

O mercado de tubos com pequeno diâmetro, feitos em aços microligados de grau API, está se revelando bastante promissor. Entretanto, a laminação de chapas grossas estreitas apresenta pouco atrativo comercial devido à baixa produtividade inerente a este tipo de material. Esse problema pode ser facilmente resolvido através do uso de laminação de esboços com o dobro ou o triplo da largura do produto final. O maior grau de segregação observado na região central da largura do esboço, fato típico em materiais produzidos a partir de placas lingotadas continuamente, levanta dúvidas quanto à soldabilidade na região das bordas cortadas. Dada a total carência de informações a esse respeito, foi desenvolvido um trabalho no sentido de se caracterizar quantitativamente a evolução de composições químicas, microestruturas e propriedades mecânicas ao longo da largura de um esboço tripla largura. Foi mostrado que não ocorreram alterações significativas ao longo dessa dimensão para as características estudadas. Verificou-se ainda que há um ganho potencial de faturamento da ordem de US\$ 25.500 a cada hora de processamento de material tripla largura, em função da maior produtividade e rendimento metálico que esse esboço mais largo proporciona.

Palavras-Chave: Esboço de Tripla Largura, Microestrutura, Propriedades Mecânicas

---

<sup>1</sup> Trabalho apresentado no Seminário de Laminação, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Volta Redonda (RJ), Setembro de 1996.

<sup>2</sup> Engenheiro Metalurgista e de Qualidade, Gerência de Suporte Técnico da Laminação a Quente da Companhia Siderúrgica Paulista – COSIPA, Cubatão SP.

<sup>3</sup> Engenheiro Metalurgista, Gerência de Laminação de Chapas Grossas da Companhia Siderúrgica Paulista – COSIPA, Cubatão SP.

<sup>4</sup> Engenheiro de Materiais, Mestre em Metalurgia, Gerência de Pesquisa da Companhia Siderúrgica Paulista – COSIPA, Cubatão SP.

<sup>5</sup> Engenheiro Metalurgista, Mestre em Metalurgia, Gerência de Controle Integrado de Chapas Grossas da Companhia Siderúrgica Paulista – COSIPA, Cubatão SP.

<sup>6</sup> Técnico em Siderurgia, Gerência de Pesquisa da Companhia Siderúrgica Paulista – COSIPA, Cubatão SP.

## - INTRODUÇÃO

A crescente competitividade no setor siderúrgico está forçando as usinas a desenvolverem rotas alternativas que viabilizem produtos cuja produção sob condições convencionais se revele economicamente inviável. Tubos de pequeno diâmetro são um exemplo típico deste tipo de material. A demanda deste produto, produzidos em aços microligados conforme a norma API, está se tornando muito significativa. Contudo, o processamento de materiais estreitos em laminadores de chapas grossas com largura de mesa muito grande, como é o caso da COSIPA, apresenta produtividade muito baixa em relação ao potencial da linha, o que compromete a margem de lucro que pode ser obtida.

Uma solução clássica para este problema está na produção de **esboços com dupla ou tripla largura**. Neste caso, o esboço efetivamente processado no laminador de chapas grossas apresenta, respectivamente, largura igual ao dobro ou triplo da largura do produto final. Esses esboços extra-largos devem ser cortados longitudinalmente a gás para se obter o produto final na largura desejada.

Os benefícios dessa prática são evidentes: afinal, onde se laminava apenas um esboço, passou-se a processar simultaneamente dois ou três. Além disso, a perda por descarte lateral é proporcionalmente menor em esboços mais largos, o que contribui para aumentar o rendimento metálico global.

Do ponto de vista operacional, há apenas uma desvantagem nesta prática, que é a necessidade do corte longitudinal a gás desses esboços. Esta atividade, como todo processamento adicional do produto, implica em maior necessidade de manuseio e controle do material, custos suplementares decorrentes do corte a gás, etc. Estes inconvenientes tem de ser assumidos pela COSIPA ou repassados ao cliente final.

Sob o aspecto metalúrgico ainda havia um ponto a ser esclarecido. Em placas provenientes do lingotamento contínuo, o processo de solidificação faz com que ocorra segregação dos elementos presentes no aço (como C, Mn, P, S, Nb, Ti, etc.) para a região central da largura e espessura da placa [1]. Essa segregação acaba sendo herdada pelo esboço laminado a partir dela. Logo, numa chapa grossa extraída de um

esboço dupla largura, o corte longitudinal ocorrerá justamente ao longo da região de segregação máxima. Caso o produto final for usado na forma de tubos, onde fatalmente ocorrerá soldagem ao longo dessa borda, essa segregação poderá ser uma fonte potencial de problemas. No caso de chapas grossas extraídas de esboços tripla largura, acredita-se que o problema seja menos sério, uma vez que o corte longitudinal ocorrerá a 1/3 e 2/3 da chapa, onde a intensidade de uma eventual segregação será menor que no centro da largura.

Apesar do uso de esboços com dupla ou tripla largura ser bastante conhecido em função do aumento de produtividade que ele promove [2,3], não foram encontradas informações na literatura sobre sua caracterização do ponto de vista químico, microestrutural ou mecânico. Assim sendo, em função da decisão da COSIPA em implantar o processo de laminação de esboços com dupla e tripla largura, foi desenvolvido um trabalho para caracterização destes laminados, em termos do grau de segregação, microestruturas e de propriedades mecânicas ao longo de sua largura, com o objetivo de ser verificar quantitativamente qual o real grau de homogeneidade que se pode esperar do material processado através dessa rota de fabricação.

## **- DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL**

O material analisado neste trabalho era da classe API 5L X60, com dimensões nominais de produto 14,27 x 2.940 x 6.096 mm. Sua composição está dentro das seguintes faixas: 0,10-0,14% C, 1,20-1,40% Mn, 0,20-0,35% Si; 0,025% máx. P, 0,010% máx. S, 0,010-0,060% Al, 0,030-0,040% Nb, 0,015-0,030% Ti, 0,009% máx. N e 0,002% máx. Ca. Todas as chapas foram submetidas ao exame de ultra-som *on-line* para caracterização de sua sanidade interna. O corte longitudinal a gás dos esboços foi feito no cliente, sendo obtidas chapas grossas com largura de 980 mm.

Foram retiradas quatro amostras por placa-mãe: duas na região central e uma em cada borda do esboço. Uma das amostras extraídas na região central foi destinada aos ensaios rotineiros de liberação do produto. A outra amostra, juntamente com as duas extraídas nas bordas do esboço, foram utilizadas na caracterização das

composições químicas, microestruturas e propriedades mecânicas ao longo da largura do laminado.

Foram produzidos 42 esboços desse material, dos quais 4 foram escolhidos para se proceder à caracterização das propriedades ao longo da largura. Foram efetuados os seguintes ensaios:

- Análise química completa: C, Mn, Si, P, S, Nb, Ti, Al, Ca;
- Análise metalográfica quantitativa, feita em regiões a  $\frac{1}{4}$  e  $\frac{1}{2}$  da espessura: fração volumétrica de perlita, tamanho de grão (global, ferrítico e perlítico) e distância livre média ferrítica, conforme procedimento descrito em [4];
- Ensaios mecânicos: tração (limite de escoamento e de resistência, razão elástica e alongamento total), dureza Vickers (5 kg), dobramento, levantamento da curva de transição em termos da energia absorvida no ensaio Charpy (-40 a +10°C) e energia absorvida no ensaio DWTT a -20°C. Os corpos de prova para os ensaios Charpy e DWTT foram extraídos no sentido transversal do esboço.

Os resultados obtidos a partir dessas caracterizações foram analisados estatisticamente, utilizando-se basicamente teste de médias (*Student*) e análise de variância (*ANOVA*), através do programa *SYSTAT*.

## **- RESULTADOS EXPERIMENTAIS E DISCUSSÃO**

A figura 1 mostra gráficos *boxplot* referentes aos teores dos elementos presentes nos aço ao longo da largura do material, enquanto que a tabela I mostra os correspondentes resultados da análise de variância. Tanto a análise gráfica como a de variância mostraram que não há diferenças significativas entre os teores dos elementos de liga do longo da largura do material. Ou seja, não foi detectada segregação signifi-

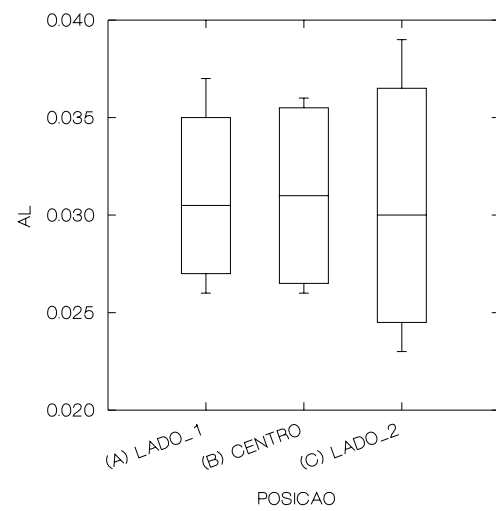
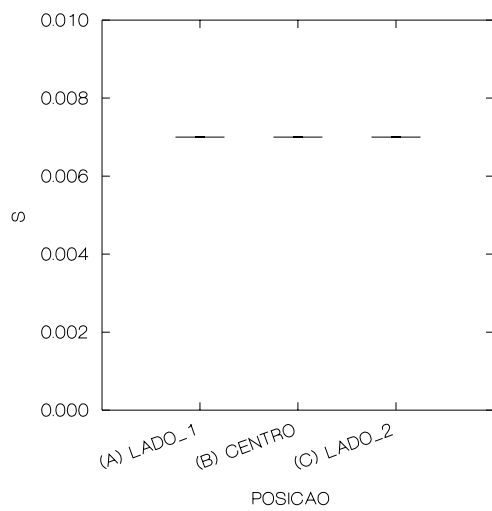
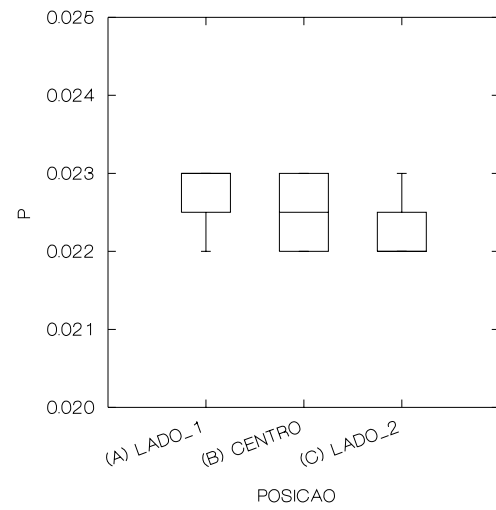
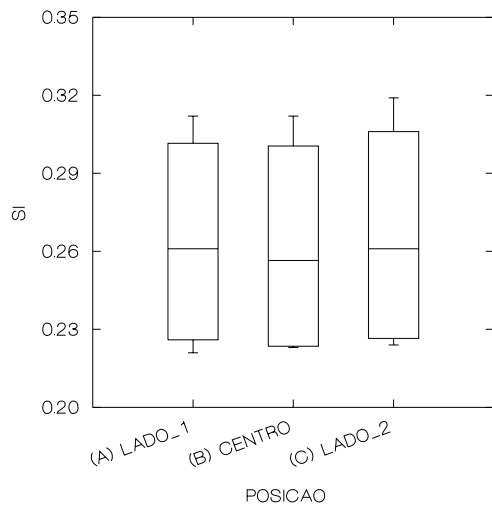
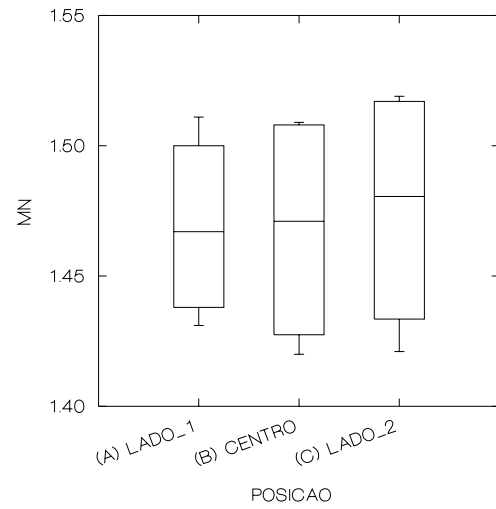
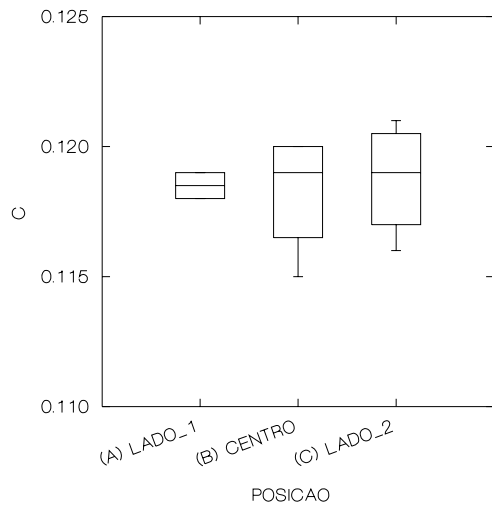


Figura 1: Gráficos *boxplot* dos elementos químicos presentes no aço ao longo da largura do laminado. Teores expressos em porcentagens em peso. (continua).

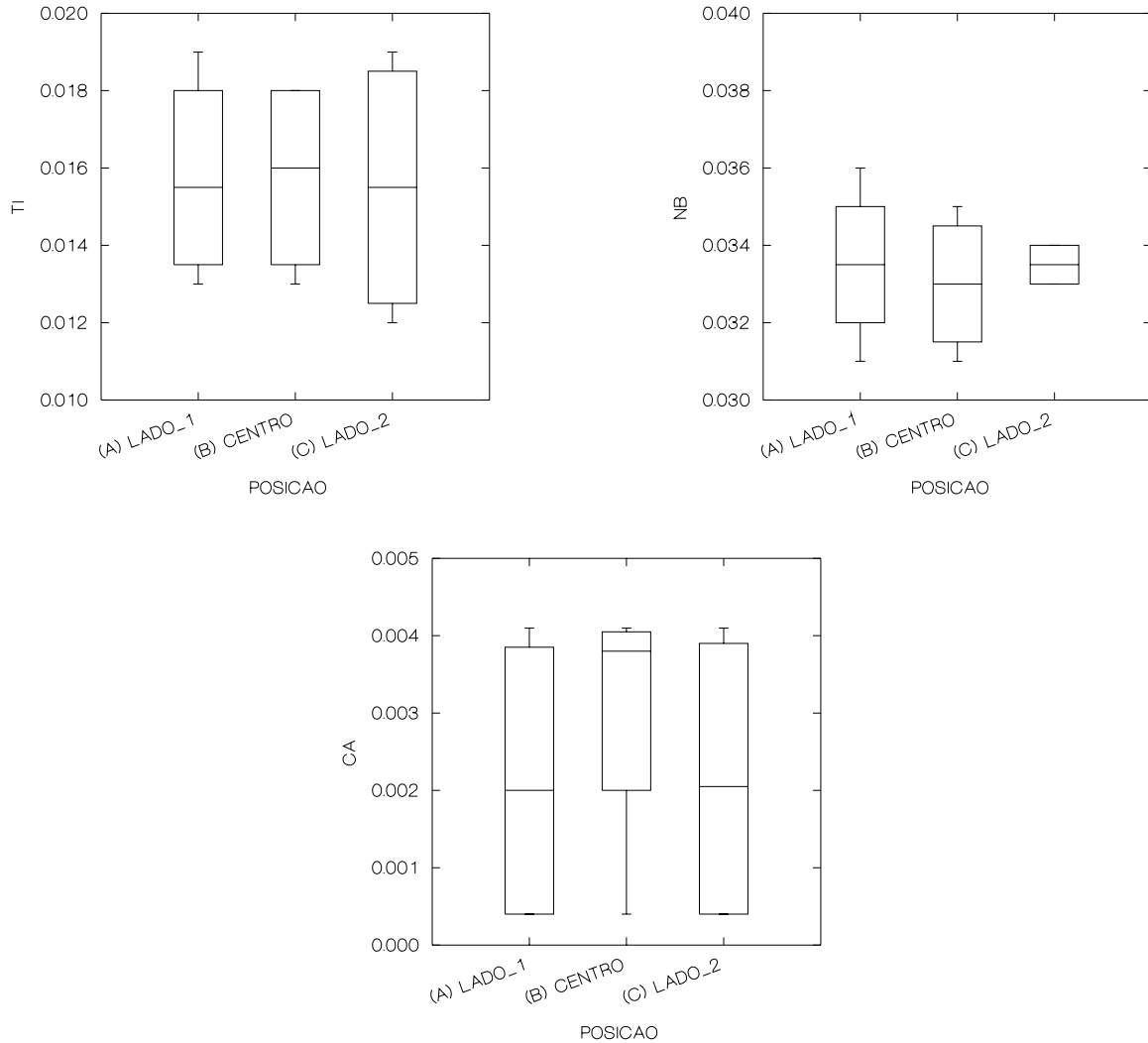


Figura 1: (continuação) Gráficos *boxplot* dos elementos químicos presentes no aço ao longo da largura do laminado. Teores expressos em porcentagens em peso.

	C	Mn	Si	P	S	Al	Ti	Nb	Ca
ANOVA	IGUAIS	IGUAIS	IGUAIS	IGUAIS	IGUAIS	IGUAIS	IGUAIS	IGUAIS	IGUAIS
	16,6%	3,2%	0,9%	56,0%	0%	0,9%	0,9%	11,6%	23,8%

Tabela I: Resultados da análise de variância referentes aos dados da figura 1, incluindo valores da probabilidade dos resultados serem diferentes ao longo da largura.

cativa. Tais resultados foram confirmados pelos ensaios de ultra-som *on-line* efetuados nos esboços, oportunidade em que foi constatada sua boa sanidade interna.

As figuras 2 e 3 mostram gráficos similares referentes aos parâmetros microestruturais determinados ao longo da largura do material, determinados respectivamente a  $\frac{1}{4}$  e  $\frac{1}{2}$  da espessura do esboço. Já as tabelas II e III mostram os respectivos resultados da análise de variância, enquanto que a tabela IV mostra o resultado do teste de médias entre os valores dos parâmetros microestruturais determinados ao longo da espessura. Mais uma vez, verificou-se que não houve diferenças microestruturais significativas tanto ao longo da largura como da espessura do laminado.

A figura 4 mostra os gráficos *boxplot* referentes às propriedades mecânicas determinadas ao longo da largura do material, enquanto que a tabela V mostra os resultados da respectiva análise de variância. Também neste caso não foi verificada diferença significativa em qualquer dessas propriedades ao longo da largura do material. Convém acrescentar que os resultados dos ensaios de dobramento foram satisfatórios em todos os laminados.

A curva de transição levantada a partir de ensaios Charpy pode ser vista na figura 5. A partir dela pode-se observar que a temperatura de transição do material se encontra abaixo de  $-40^{\circ}\text{C}$ , uma vez que se obteve apenas um patamar com valor médio de energia absorvida de 71 J. A análise de variância mostrou que não houve diferenças significativamente estatísticas entre os valores de energia absorvida ao longo das várias temperaturas de ensaio. De fato, a probabilidade desses valores serem diferentes é de 84,8%, que está abaixo do valor mínimo necessário para que a diferença entre eles seja relevante, ou seja, 95%.

A tabela VI mostra a análise de variância efetuada para os valores de energia absorvida durante o ensaio Charpy ao longo da largura para cada temperatura de ensaio. Mais uma vez, verificou-se que não houve diferença entre os valores de energia absorvida ao longo da largura. A área de fratura dúctil observada nos corpos de prova de ensaio Charpy for igual a 100% em todos os casos. O mesmo ocorreu para os corpos de prova do ensaio DWTT efetuados a  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Considerando agora o aspecto econômico da produção de material tripla largura, temos que:

**- Ganhos:**

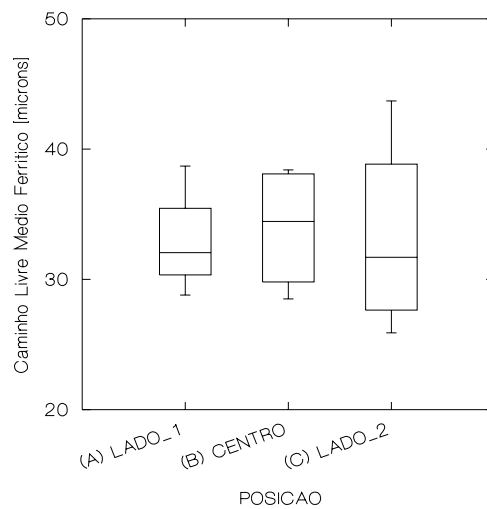
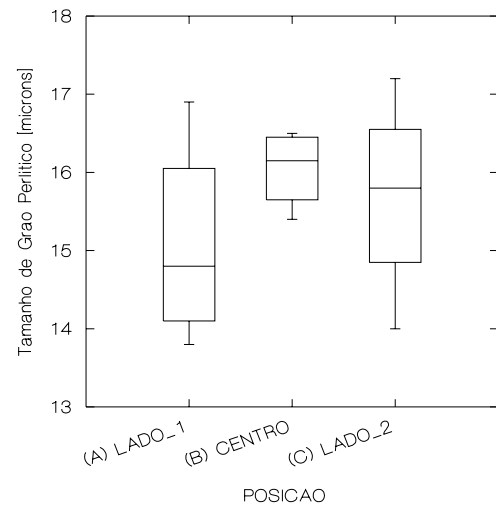
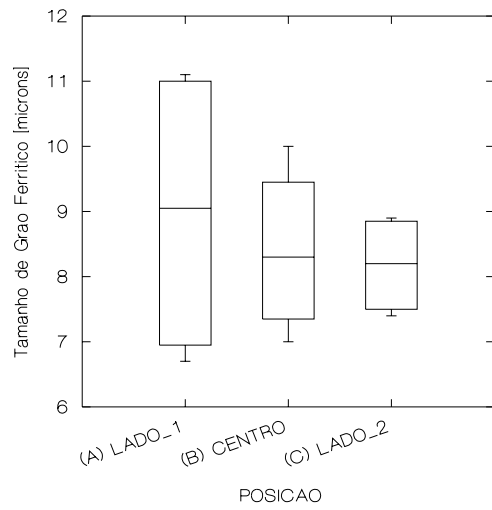
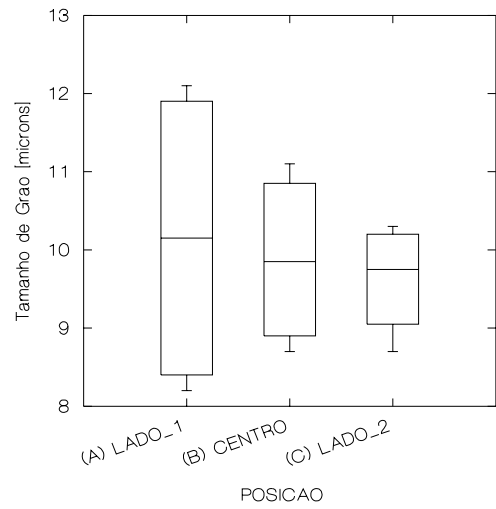
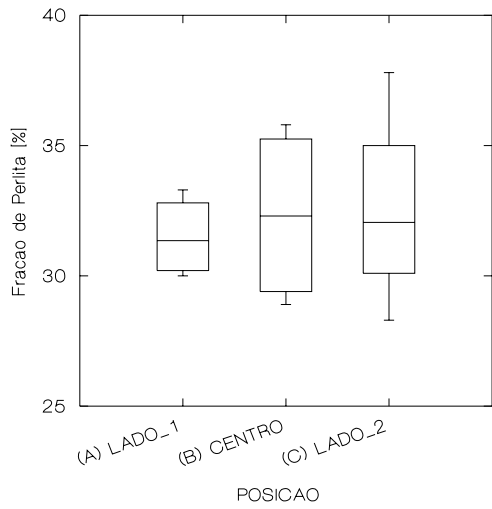


Figura 2: Gráficos *boxplot* dos parâmetros microestruturais ao longo da largura do laminado, a  $\frac{1}{4}$  da espessura.



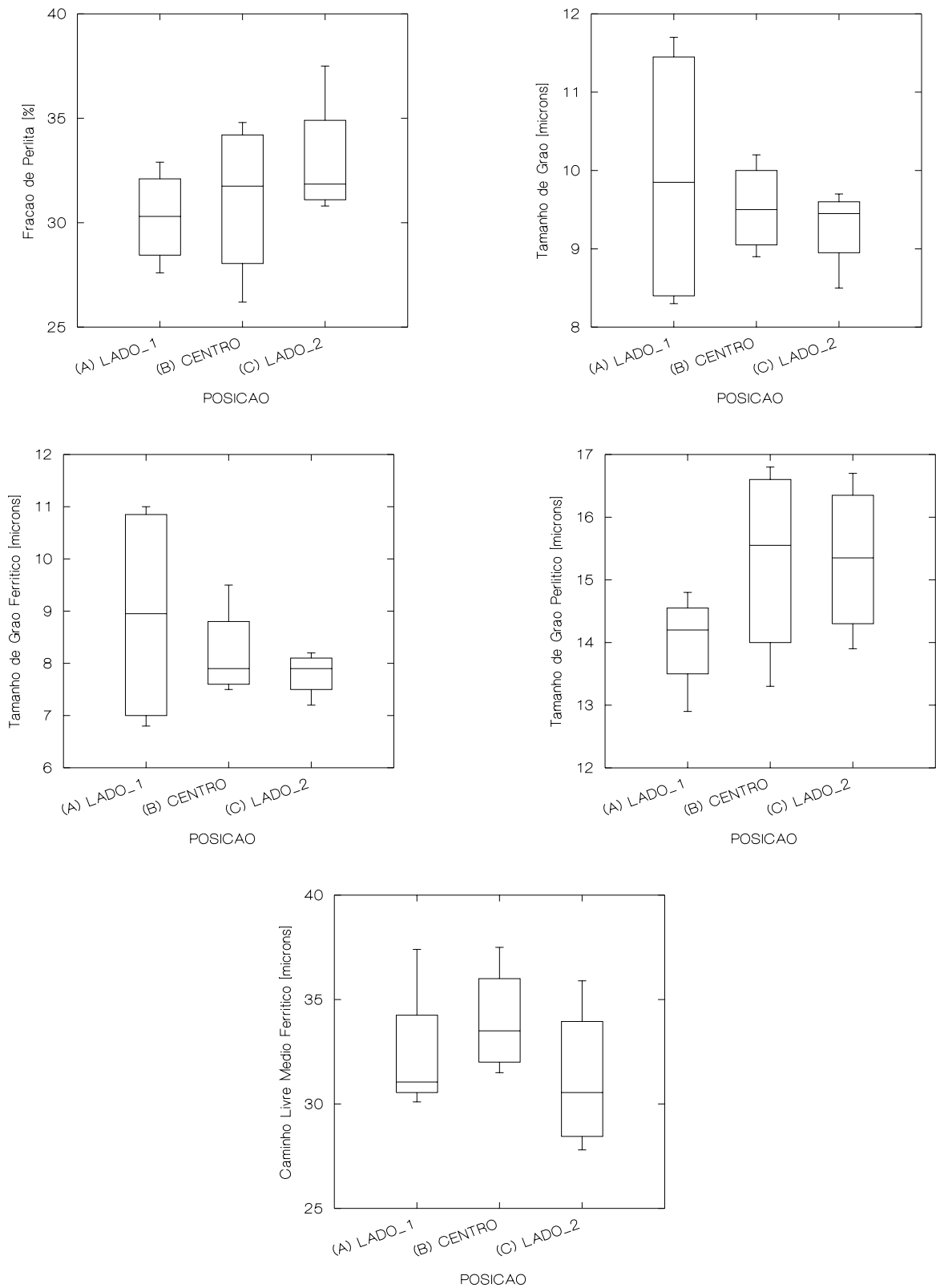


Figura 3: Gráficos *boxplot* dos parâmetros microestruturais ao longo da largura do laminado, a  $\frac{1}{2}$  da espessura.

PARÂMETRO	FRAÇÃO PERLITA	T.G. GLOBAL	T.G. FERRITA	T.G. PERLITA	CAMINHO LIVRE
ANOVA	IGUAIS 11,5%	IGUAIS 12,7%	IGUAIS 23,0%	IGUAIS 51,0%	IGUAIS 3,3%

Tabela II: Resultados da análise de variância referentes aos dados da figura 2, incluindo valores da probabilidade dos resultados serem diferentes ao longo da largura.

PARÂMETRO	FRAÇÃO PERLITA	T.G. GLOBAL	T.G. FERRITA	T.G. PERLITA	CAMINHO LIVRE
ANOVA	IGUAIS 51,3%	IGUAIS 38,1%	IGUAIS 45,6%	IGUAIS 69,7%	IGUAIS 11,9%

Tabela III: Resultados da análise de variância referentes aos dados da figura 3, incluindo valores da probabilidade dos resultados serem diferentes ao longo da largura.

PARÂMETRO	FRAÇÃO PERLITA	T.G. GLOBAL	T.G. FERRITA	T.G. PERLITA	CAMINHO LIVRE
STUDENT	IGUAIS 59,5%	IGUAIS 52,9%	IGUAIS 72,6%	IGUAIS 15,7%	IGUAIS 64,3%

Tabela IV: Resultados da análise de variância referentes aos dados da figura 2 e 3, incluindo valores da probabilidade dos resultados serem diferentes ao longo da espessura.

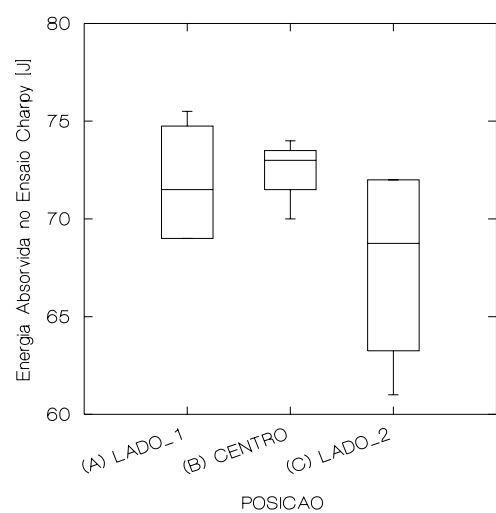
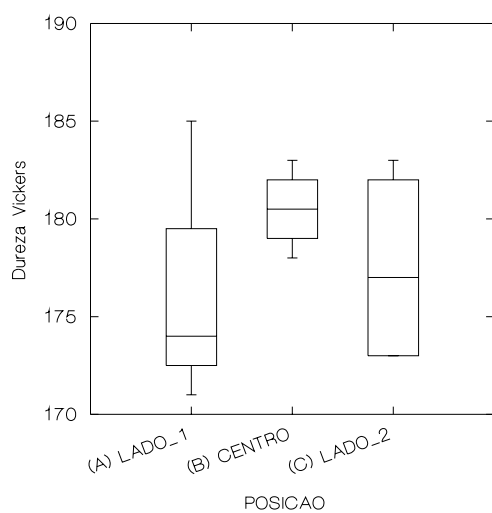
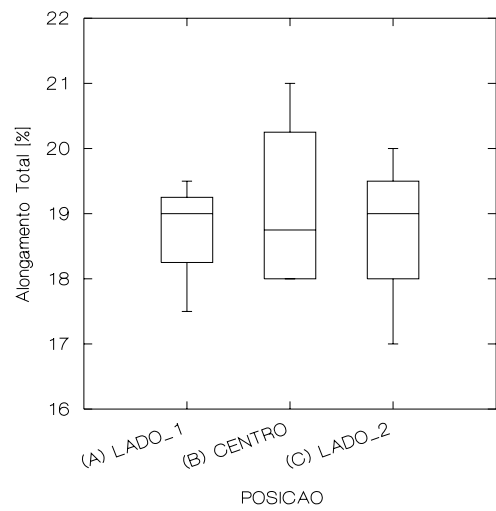
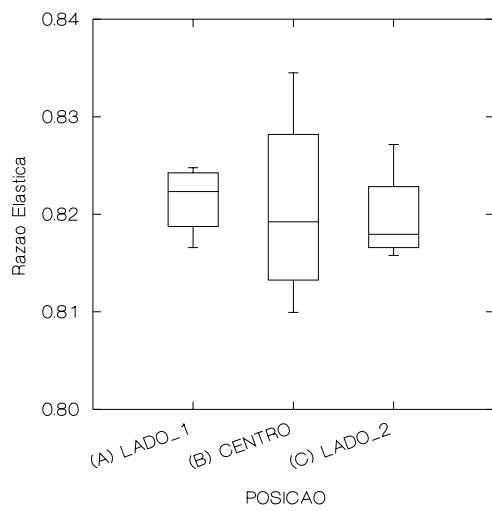
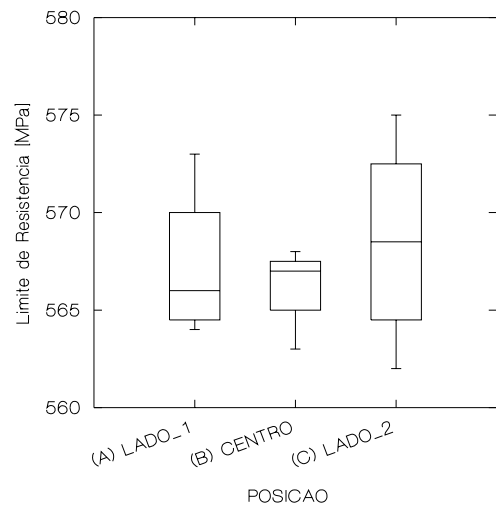
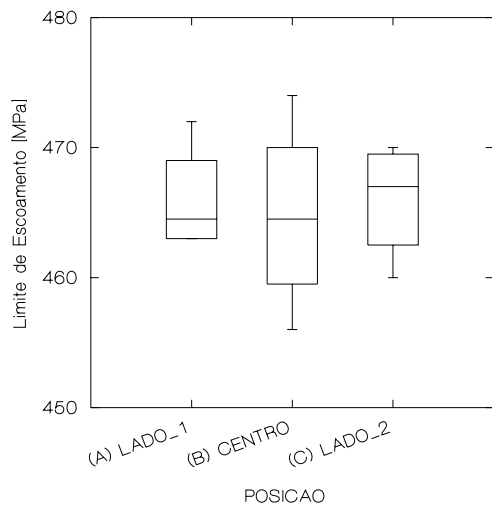


Figura 4: Gráficos *boxplot* das propriedades mecânicas ao longo da largura do laminado.

PARÂMETRO	LIMITE ESCOAMENTO	LIMITE RESISTÊNCIA	RAZÃO ELÁSTICA	ALONGAMENTO TOTAL	DUREZA VICKERS	ENERGIA ABSORVIDA
ANOVA	IGUAIS 6,4%	IGUAIS 25,2%	IGUAIS 6,3%	IGUAIS 11,9%	IGUAIS 56,0%	IGUAIS 78,9%

Tabela V: Resultados da análise de variância referentes aos dados da figura 4, incluindo valores da probabilidade dos resultados serem diferentes ao longo da largura.

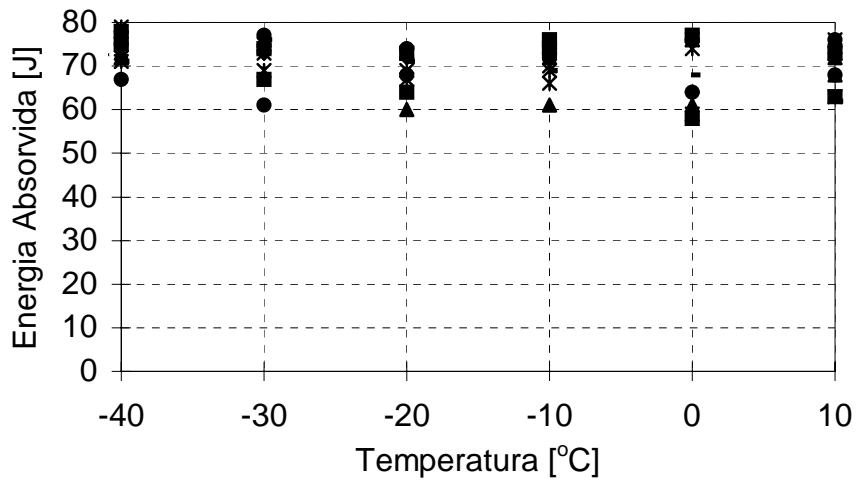


Figura 5: Curva de transição levantada a partir dos valores de energia absorvida no ensaio Charpy executados sob diferentes temperaturas.

TEMPERATURA ENSAIO	-40°C	-30°C	-20°C	-10°C	0°C	10°C
ANOVA	IGUAIS 89,5%	IGUAIS 92,3%	IGUAIS 59,7%	IGUAIS 41,0%	IGUAIS 93,5%	IGUAIS 63,9%

Tabela VI: Resultados da análise de variância referentes aos dados da figura 5, incluindo valores da probabilidade dos resultados serem diferentes ao longo da largura.

a) Aumento de Produtividade:

. Material estreito (1000 mm de largura) = 52 t/h

. Material largo (3.000 mm de largura) = 125 t/h

Ou seja, a produção de material tripla largura aumentou a produtividade do laminador de chapas grossas em 73 t/h. Considerando-se que o custo médio do produto chapas grossas é de US\$ 350/t, obtém-se então um ganho potencial de US\$ 25.600/hora, devido à possibilidade de aumento de faturamento.

b) Aumento de Rendimento Metálico:

As perdas por descarte em bordas variam conforme a largura do material:

. Material estreito = 5,4%

. Material largo = 3,8%

Ou seja, a produção de material tripla largura implicou num ganho de rendimento metálico da ordem de 1,6%. Uma vez que o material X60 possui preço aproximado de US\$ 450/t, ocorreu então um ganho de US\$ 900/h, assumindo-se o nível de produtividade citado no item anterior.

**- Perdas:**

c) Corte Longitudinal a Gás do Esboço

Considerando-se custo de US\$ 8/t de material cortado, há dispêndio de US\$ 1000/h durante a produção de material tripla largura.

Contabilizando-se ganhos e perdas, chega-se à conclusão de que cada hora de produção de esboços de material API 5L X-60 com tripla largura (3.000 mm), leva à possibilidade de aumento de faturamento da ordem de US\$ 25.500/hora no laminador de chapas grossas, quando se compara com a laminação convencional do

mesmo tipo de material, com largura simples (1000 mm).

O desempenho deste produto no cliente foi muito bom, não sendo verificado qualquer problema de conformação ou soldagem que pudesse ser atribuído à eventuais heterogeneidades decorrentes do uso de esboços com tripla largura.

## **- CONCLUSÕES**

Os resultados da caracterização da composição química, microestrutura e propriedades mecânicas ao longo da largura de esboços grau API X-60 com 14,0 mm de espessura de 3.000 mm de largura são os seguintes:

- Não houve segregação significativa de elementos de liga;
- Todos os parâmetros microestruturais são aproximadamente homogêneos;
- A resistência mecânica, ductilidade e tenacidade mostraram-se uniformes.

Essas constatações metalúrgicas confirmam a viabilidade do uso desse esboço como material tripla largura, que poderá dar origem à chapas grossas mais estreitas (largura de 940 mm) através de corte longitudinal a gás. De fato, o real desempenho no cliente de materiais assim produzidos foi muito bom, sem que tenham sido apresentados problemas que pudessem ser atribuídos à sua rota específica de produção.

Tais constatações são muito auspiciosas, uma vez que a laminação de materiais tripla largura similares aos estudados neste trabalho levou a um ganho de US\$ 25.500 por hora de laminação, em função da maior produtividade e rendimento metálico observados.

## **- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. SIMPSON, I.D. e outros. La Metallurgia Italiana, Jul.-Ago. 1992, 599-606.
2. WILMS, W. Entwicklung in der Blechwalzung. Düsseldorf, MDS Mannesmann-Demag-Sack GmbH, 1991. 27 p.
3. ROBERTS, W.L. Hot Rolling of Steel, Marcel Dekker Inc., New York, 1978. 1033 p.
4. GORNI, A.A. Revista Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Jan.-Mar. 1995, 40-4.