

# ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA LAMINAÇÃO DE ACABAMENTO À FRIO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UMA CHAPA DE AÇO BAIXO CARBONO<sup>1</sup>

André Sereno Lopes<sup>2</sup>  
Antenor Ferreira Filho<sup>3</sup>  
Cláudio Ronqui<sup>4</sup>

## Resumo

Objetivo deste trabalho foi analisar a influência da redução a frio aplicada na laminação de acabamento, nas propriedades mecânicas de uma chapa de aço baixo teor de carbono, de espessura nominal 0,60mm com acabamento de superfície fosco, que será aplicada em operação de conformação severa. As diversas reduções em espessura foram obtidas através de um laminador quadroo equipado com medidor de espessura e redução por meio de raios-x. Os resultados confirmam predições da literatura e permitiram melhorar a conformabilidade da chapa de aço.

**Palavras-chave:** Laminação à frio; Chapa de aço; Propriedades mecânicas.

## STUDY OF THE INFLUENCE OF SKIN PASS ON MECHANICAL PROPERTIES OF LOW CARBON COLD ROLLED STEEL SHEET

## Abstract

The aim of this paper was to analyze the influence of cold reduction used in skin pass on mechanical properties of one low carbon steel sheet with the nominal thickness of 0,60mm and with matt finish, which will be applied in severe forming operations. For analyzes was used one rolling mill equipped with x-ray thickness and cold reduction measure system. The results confirm the predictions from literature and allowed to improve the steel sheet formability.

**Key words:** Cold rolling; Steel sheet; Mechanical properties.

<sup>1</sup> Trabalho apresentado ao 43º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 17 a 20 de outubro de 2006, Curitiba, PR

<sup>2</sup> Engº. Desenvolvimento da Brasmatal Waelzholz S/A Ind. e Com.- [alopes@brasmatal.com.br](mailto:alopes@brasmatal.com.br)

<sup>3</sup> D. Sc , Diretor Industrial da Brasmatal Waelzholz S/A Ind. Com – [afilho@brasmatal.com.br](mailto:afilho@brasmatal.com.br)

<sup>4</sup> Encarregado de Laminação da Brasmatal Waelzholz S/A Ind. e Com. – [ronqui@brasmatal.com.br](mailto:ronqui@brasmatal.com.br)

## 1 INTRODUÇÃO

Aços de baixo teor de carbono quando laminados a frio e recozidos, apresentam certas características peculiares que tornam problemática sua aplicação nessa condição. A laminação de acabamento ou “*skin pass*” é um processo que visa produzir boa planicidade, adequar rugosidade, mas principalmente eliminar o defeito denominado de linha de distensão na superfície de aços planos laminados a frio, a fim de obter um bom acabamento para aplicações que serão posteriormente pintados ou submetidos a tratamentos superficiais como niquelação, cromação entre outros.<sup>[1]</sup>

Uma baixa redução em espessura é normalmente aplicada para atender os requisitos dimensionais das chapas de aço e ao mesmo tempo não alterar de forma significativa suas propriedades mecânicas além de eliminar defeitos como linhas de distensão ou banda de Luders, que se apresentam no processo de conformação por estampagem. É conhecido também que altas reduções induzem maiores rugosidades superficiais.<sup>[1]</sup> Independente da redução aplicada esta sempre influenciará na propriedade mecânica do material. Quanto maior a redução maior será sua influência na propriedade mecânica, se a redução for alta as propriedades mecânicas serão deterioradas. Portanto a escolha de uma redução adequada é muito importante na laminação de acabamento.

Na literatura, há publicações sobre a predição da deformação plástica dos aços durante a laminação de acabamento, sobre o modelamento da rugosidade, correção da planicidade, o efeito da laminação de acabamento no valor do coeficiente de anisotropia plástica normal ( $r$ ).<sup>[1]</sup> Entretanto poucos trabalhos foram feitos para correlacionar a laminação de acabamento e o expoente de encruamento ( $n$ ).

O expoente de encruamento é um valor muito importante na caracterização de chapas que serão utilizadas em processos de estampagem, principalmente onde se tem o predomínio de estiramento. Ele indica a capacidade do material em distribuir de forma homogênea as tensões frente a um gradiente de deformação nas quais o material é solicitado.

O trabalho de Yoshida, Katayama e Usuda<sup>[2]</sup> demonstram a existência da influência do acabamento no expoente de encruamento que diminui de 0,24 a 0,105 para uma amostra sem laminação e uma amostra com 6,0% de redução na espessura, respectivamente. Já para o índice de anisotropia plástica normal não se nota influência, ou seja, o valor de anisotropia plástica normal permaneceu inalterado.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o estudo foi utilizado um aço de baixo teor de carbono, laminado a frio, de espessura nominal 0,60mm, com rugosidade superficial de 1,05  $\mu\text{m}$  Ra e tamanho de grão medido pelo método dos interceptos, de 36  $\mu\text{m}$ . A composição química do aço é apresentada na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1. Composição química (% em massa)

C	Mn	P	S	Si	Al	N
0,03	0,25	0,016	0,007	0,005	0,042	0,004

As amostras foram produzidas em um laminador quádruplo reversível equipado com medidor de espessura por raios-X. A Figura 1 ilustra o equipamento utilizado.



**Figura 1.** laminador utilizado para produção das amostras

As reduções aplicadas nas amostras foram de até 4,5% em espessura.

Na Figura 2 pode ser observado o equipamento de medição de espessura e redução por meio de raios-X.



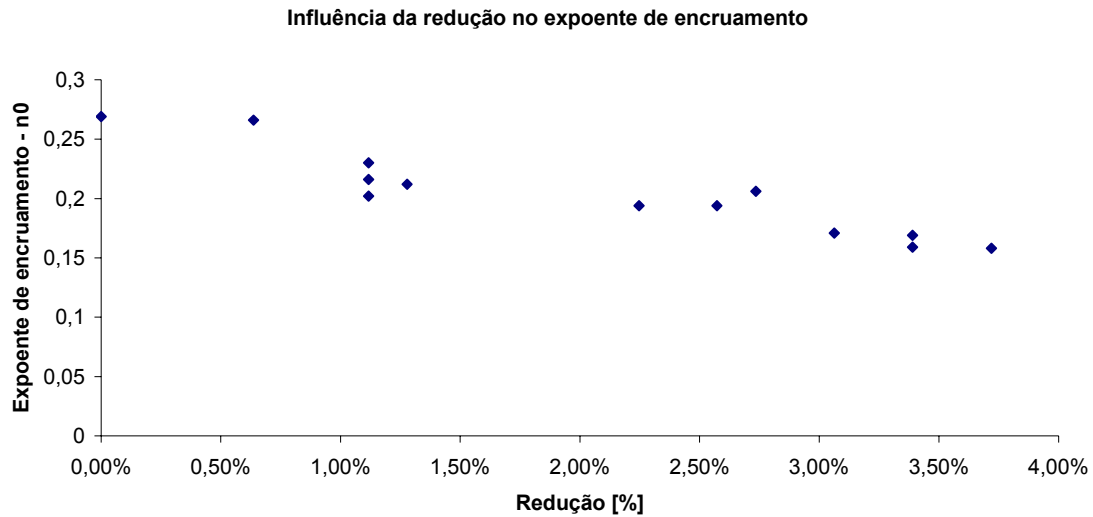
**Figura 2.** Equipamento de medição por meio de raios-X utilizado para controle da redução.

Para análise das propriedades mecânicas foi utilizada uma máquina de ensaio de tração universal da marca Zwick modelo 1475-TM com capacidade de 100 kN.

### **3 RESULTADOS**

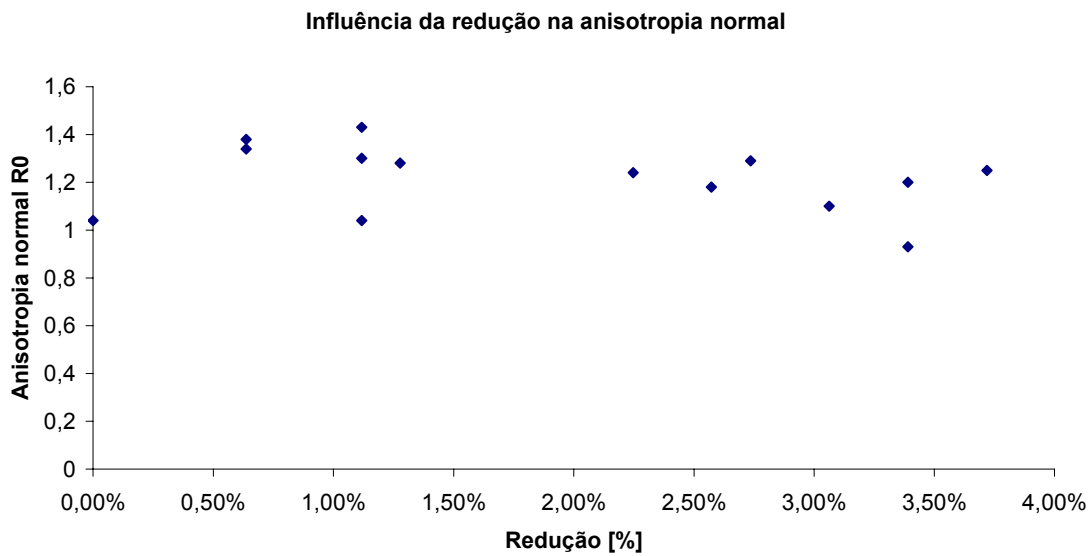
As Figuras de 3 a 6 mostram a influência da redução aplicada na laminação de acabamento nas principais propriedades mecânicas do aço estudado

A Figura 3 mostra a influência da redução no expoente de encruamento medido na direção paralela ao direção de laminação.



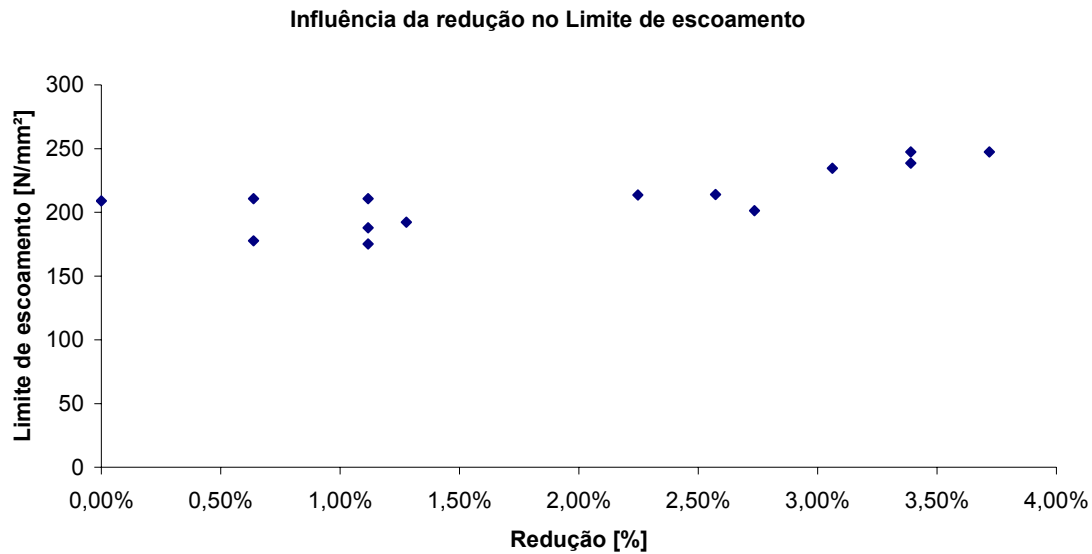
**Figura 3.** Influência da redução aplicada no expoente de encruamento

A Figura 4 mostra a influência da redução na anisotropia plástica normal medida na direção paralela ao direção de laminação.



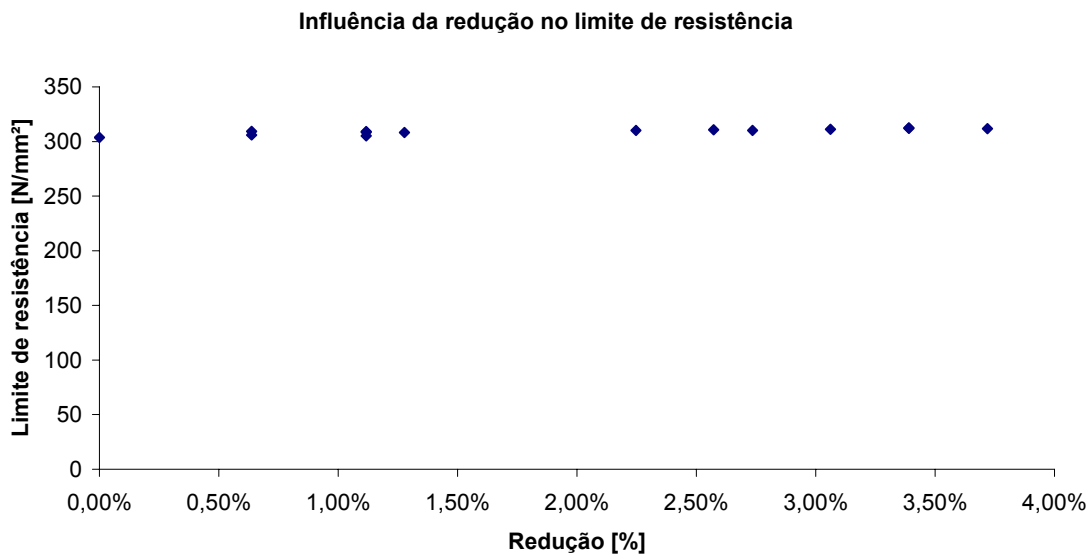
**Figura 4.** Influência da redução na anisotropia plástica normal

A Figura 5 mostra a influência da redução no limite de escoamento medido na direção paralela ao direção de laminação.



**Figura 5.** Influência da redução no limite de escoamento.

A Figura 6 mostra a influência da redução no limite de resistência medido na direção paralela ao direção de laminação.



**Figura 6.** Influência da redução no limite de resistência.

#### 4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O trabalho demonstrou a forte influência da porcentagem de redução no expoente de encruamento, que diminui de 0,27 para 0,16 em amostras nas condições sem laminação e laminada a 4,0% de redução em espessura, respectivamente. O mesmo efeito foi observado no trabalho de Yoshida, Katayama e Usuda.<sup>[2]</sup> Para a espessura utilizada uma pequena variação da ordem de centésimos de milímetro pode determinar a boa ou má estampabilidade. A utilização do controle automático de redução através de raios-X possibilitou um melhor controle da redução aplicada e da realização deste trabalho. Mesmo com a limitação do controle de redução próprio da concepção do laminador quadro, com a utilização de larguras menores de laminação, bobinas com perfil transversal de espessura

selecionados, e diâmetros de cilindros adequados é possível a aplicação de redução adequada a chapas que serão severamente conformadas.

Por outro lado, no estudo percebe-se que a anisotropia plástica normal foi pouco afetada pela redução aplicada, pois ela depende principalmente da orientação cristalográfica preferencial (textura) do aço. Resultado semelhante foi verificado por Yoshida, Katayama e Usuda.<sup>[2]</sup>

A mesma consideração é válida para o limite de resistência, que praticamente permaneceu inalterado pela redução aplicada. Já o limite de escoamento sofreu forte influência da redução. Os mecanismos associados à estas alterações podem ser descritos pela teoria dos mecanismos de multiplicação de discordâncias. O comportamento do limite de escoamento pode ser associado à introdução de discordâncias móveis na superfície do aço. Para o intervalo de até próximo à 1,2% de redução, a introdução de discordâncias móveis faz com que haja um abaixamento no valor do limite de escoamento. Para reduções superiores a 1,2 % se inicia o fenômeno de encruamento, uma vez que a quantidade de discordâncias geradas é elevada e passa a ocorrer uma interferência entre elas, elevando assim a resistência do material. Este fenômeno pode ser observado claramente na Figura 5.

Para continuidade do trabalho sugere-se a avaliação da influência da rugosidade e da espessura nominal.

## 5 CONCLUSÕES

O trabalho possibilitou a compreensão da influência da redução a frio aplicada na laminação de acabamento de chapas de aço baixo carbono nas principais propriedades mecânicas de chapas para estampagem.

Os resultados encontrados no trabalho foram condizentes com resultados disponíveis na literatura. Com a compreensão desta influência foi possível melhorar o expoente de encruamento da chapa estudada.

Somente com a utilização de rígidos controles de redução é possível de se obter aços de bom desempenho em estampagem principalmente em processos onde se predomina o estiramento.

## REFERÊNCIAS

- 1 FANG, X.; FAN, Z.; RALPH, B.; EVANS, P.; UNDERHILL, R. Effect of temper rolling on tensile properties of C-Mn steels. *Materials Science and Technology*, March 2005, v. 18, p.285-288.
- 2 YOSHIDA, T.; KATAYAMA, T.; USUDA, M. Forming-limit analysis of hemispherical-punch stretching using the three-dimensional finite-element method. *Journal of Materials Processing Technology*, March 1995, v. 50, n. 1-4, p.226-237.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 CALLISTER, W. *Materials science and engineering an introduction*. 4 ed. U.S.A.: John Wiley and Sons, 1996, 852p.