

## **ESTUDO DO PROCESSO DE TÊMPERA CONVENCIONAL E DIRETA LOCALIZADA EM LÂMINAS DE MOTONIVELADORAS**

**Claudiomar de Souza Tavares, tec@metisa.com.br<sup>1</sup>**  
**Carlos Augusto Silva de Oliveira, carlosa@emc.ufsc.br<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Metisa- Metalúrgica Timboense SA. Timbó -SC,

<sup>2</sup>UFSC, Departamento de Engenharia Mecânica, Campus Universitário, Trindade, CEP: 88040-900, Florianópolis, SC

**Resumo:** Neste trabalho estudou-se comparativamente o processo de têmpera convencional com processos alternativos de têmpera direta localizada no aço SAE 15B28, para verificar a possibilidade de substituição da têmpera convencional no processo de fabricação de lâminas de motoniveladoras. Foi avaliado o efeito da temperatura de homogeneização (reaquecimento) e sem homogeneização após a laminação em três condições de têmpera direta e comparada com a convencional através das propriedades mecânicas e microestruturas. No processo de têmpera convencional, a têmpera é efetuada em todo o perfil e têmpera direta localizada só em uma região da lâmina.

**Palavras-chave:** Tratamento termomecânico, têmpera convencional, têmpera direta, lâminas de motoniveladoras

### **1. INTRODUÇÃO**

A Metisa, empresa do setor metal-mecânico de Santa Catarina fabrica lâminas de motoniveladoras através do seguinte processo: laminação a quente, furação em uma das extremidades da lâmina para fixação nas motoniveladoras e têmpera convencional na lâmina inteira.

Como em qualquer produção industrial, existe a busca pela redução dos custos de processo e outros insumos, como aproveitamento da energia, aumento da produtividade, além do melhoramento dos processos para obtenção de melhores propriedades mecânicas em seus produtos. Um dos processos que pode reduzir custos é a têmpera direta que possibilita obter peças temperadas diretamente após a laminação, sem necessidade de reaustenitização. Estudos (Oliveira, 1994 e Kozasu, 1988) mostraram também, que com a têmpera direta pode-se obter melhores propriedades mecânicas ou semelhantes à têmpera convencional. Naturalmente, na têmpera direta as condições de laminação a quente vão influenciar nas propriedades do produto. A laminação a quente irá afetar a microestrutura da austenita, que pode variar desde austenita recristalizada, quando a laminação é realizada na região de recristalização (laminação convencional) até não recristalizada: laminação a baixas temperaturas na região de não recristalização (laminação controlada).

O emprego da têmpera direta na fabricação de lâminas de motoniveladoras, entretanto, não pode ser realizado em toda a lâmina devido a necessidade de ter-se uma das extremidades com baixa dureza para se fazer a furação. Portanto, este novo processo de fabricação deve ser constituído de: laminação à quente com têmpera direta localizada e furação na região não temperada.

O presente estudo teve, portanto, o objetivo de avaliar o processo de têmpera convencional em lâminas de motoniveladoras (reaustenitização a 880°C), onde a têmpera é efetuada em todo o perfil (processo atualmente utilizado) e compará-lo com o processo de têmpera direta localizada em uma região da lâmina, para verificar a possibilidade de substituição da têmpera convencional. Na têmpera direta foram estudadas a influência de duas temperaturas de homogeneização (reaquecimento) após a laminação (830 e 880° C), e uma sem reaquecimento. A avaliação foi realizada através das propriedades mecânicas e microestruturas. O aço estudado foi o SAE 15B28.

### **2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS**

Na realização deste trabalho foram utilizadas as condições normais de processo, com equipamentos industriais em todas as etapas de fabricação do perfil da lâmina utilizada em motoniveladoras, figuras 1 e 2.

Foram utilizadas três condições de têmpera direta, duas com homogeneização e uma sem homogeneização e uma de têmpera convencional. Os experimentos estudados com as devidas codificações das amostras são mostradas a seguir:

**Têmpera convencional:** TC 880°C – Laminação a quente, resfriamento ao ar, furação, austenitização a 880°C, têmpera em todo perfil em água e revenido.

**Têmpera direta localizada com homogeneização a 880°C:** TD H 880°C – Laminação a quente, reaquecimento (homogeneização) a partir da temperatura final de laminação até a temperatura superficial da lâmina atingir 880°C, têmpera localizada em água, com dispositivo desenvolvido para este fim, revenido e furação.

**Têmpera direta localizada com homogeneização a 830°C:** TD H 830°C – O procedimento foi semelhante ao mostrado acima, com homogeneização a 830°C em vez de 880°C.

**Têmpera direta localizada sem homogeneização após a laminação:** TD SH - Laminação a quente, têmpera localizada em água, revenido e furação.

Todas as amostras foram revenidas a 250°C.



Figura 1 – Lâmina em trator motonivelador.

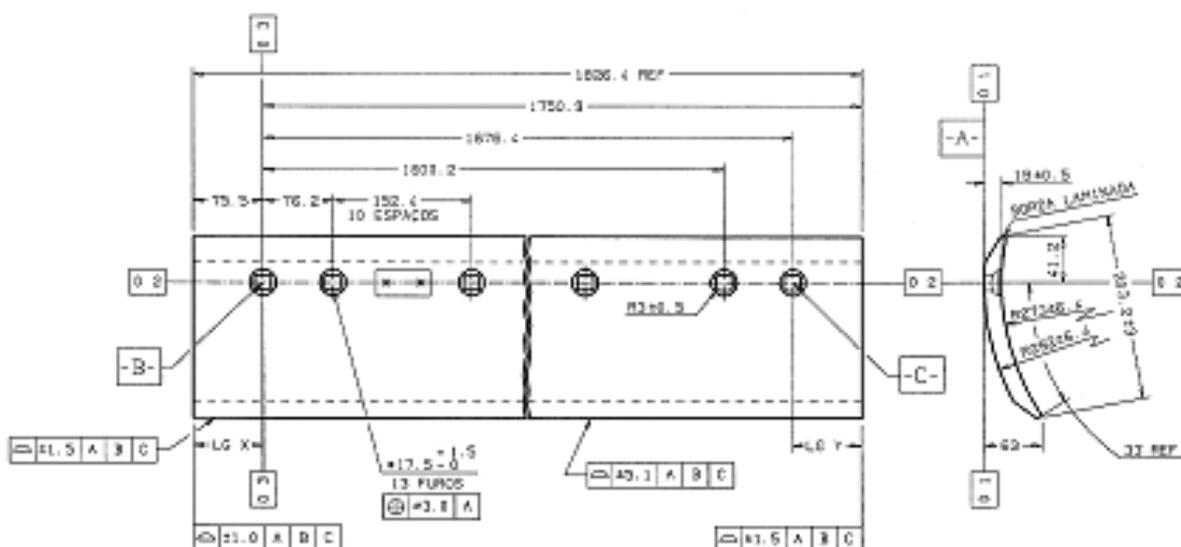


Figura 2 – Projeto dimensional da lâmina de motoniveladoras

A tabela 1 mostra composição química do aço utilizado e a especificação da norma do aço 15B28.

Os corpos de prova para os ensaios de tração e análises metalográficas foram usinados após revenido na direção longitudinal ao sentido de laminação no centro geométrico da lâmina. Os CPs foram retirados em três regiões da lâmina. Região 1 – onde será efetuada a furação, região 2 - região intermediária e região 3 – 50mm abaixo da linha d'água, linha que limita a imersão máxima do perfil em água durante a têmpera localizada.

Os CPs para ensaio de tração foram usinados segundo a Norma ASTM A 370/1997. Os ensaios foram realizados em temperatura ambiente em uma máquina de ensaio EMIC modelo DL 10000. Foram ensaiados três corpos de prova por condição.

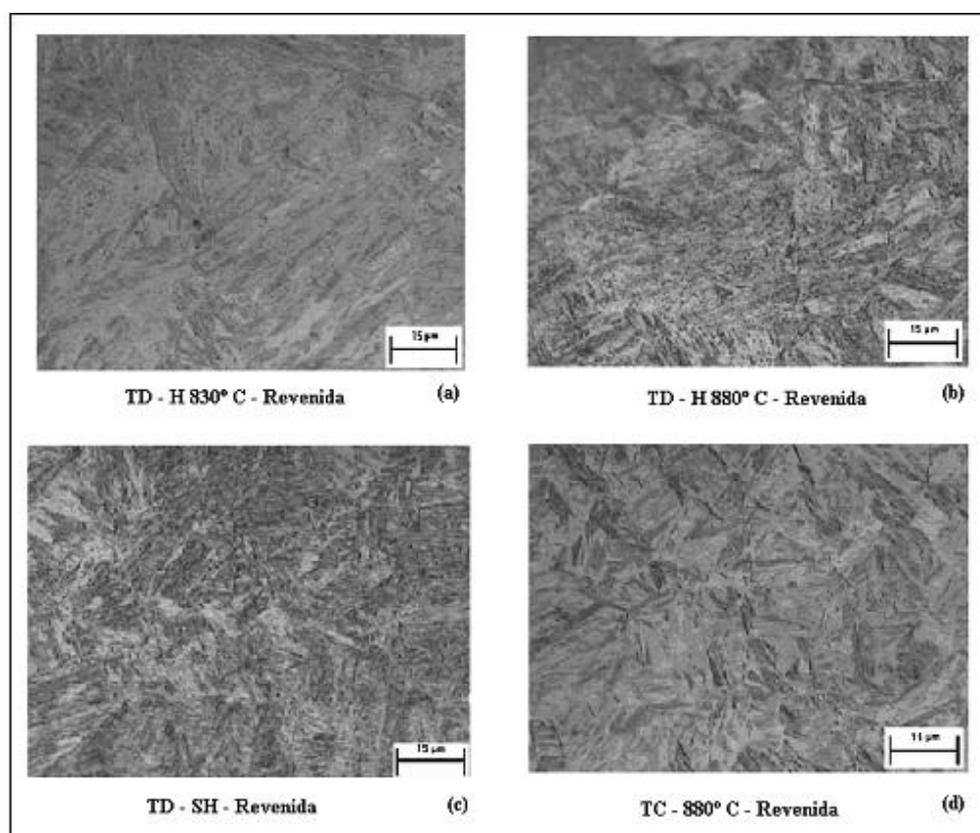
**Tabela 1 – Composição química do aço SAE 15B28 (% em peso)**

Elementos químicos	Norma SAE	Composição do aço
C	0,24 – 0,29	0,27
Mn	1,15 – 1,30	1,26
Si	0,20 – 0,35	0,30
S	0,035 máx.	0,013
P	0,030 máx.	0,022
Cu	0,30 máx.	0,17
Cr	0,15 – 0,25	0,18
Ni	0,20 máx.	0,07
Mo	0,040 máx	0,008
Ti	0,050 máx.	0,03
B	0,005 – 0,003	0,004
N (ppm)	90 máx	80

Nas análises metalográficas foram utilizados os microscópios óptico modelo 84342- Neomet Union e Eletrônico de Varredura, Phillips modelo XPERT. As amostras foram lixadas e polidas com técnicas usuais de preparação. O reagente químico utilizado para revelar a microestrutura foi Nital 2%. Para determinação do tamanho de grão austenítico prévio as amostras foram imersas numa solução composta de 200ml de água (H<sub>2</sub>O) deionizada, 4g de Cloreto Férrico (FeCl<sub>3</sub>) e 4g de Ácido pícrico ((NO<sub>2</sub>)<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>2</sub>OH) e como agente molhante um detergente comercial neutro. O método utilizado na determinação do tamanho de grão foi o de intersecção linear médio.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados serão apresentados comparando as amostras nas 3 regiões, separadamente. As figuras 3 e 4 mostram as microestruturas das quatro amostras na região temperada / revenida observada por microscopia ótica e eletrônica de varredura – MEV, respectivamente.

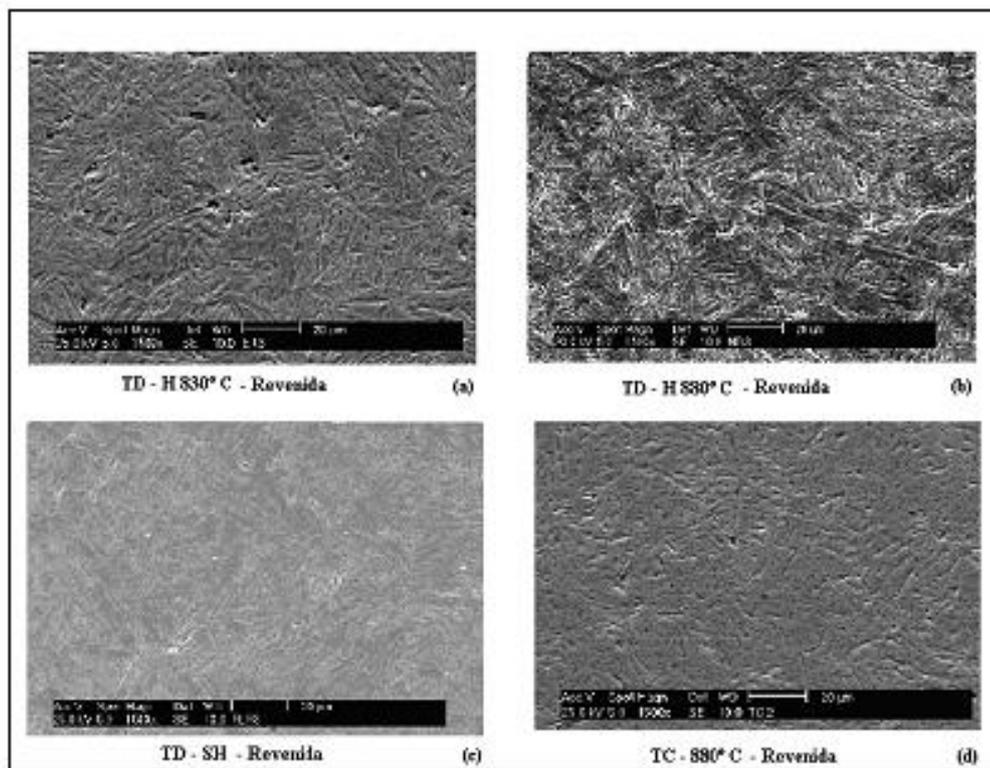


**Figura 3 – Microestrutura observada nas quatro condições experimentais na região 3**

As figura 3(a,b,d) e 4 mostram uma microestrutura constituída de martensita em ripas, características de aços de baixo carbono. Indicando que a velocidade de resfriamento está acima da velocidade crítica para obtenção de martensita e a temperatura de austenitização está acima de  $Ac_3$  ( $802^{\circ}C$ ) (Schmitz, 2006).

A figura 3.c mostra uma microestrutura constituída predominantemente de martensita em ripas revenida, como observado para as outras condições experimentais. Entretanto, nesta amostra pode-se ainda observar a presença de ferrita alotriomorfa de contorno de grão. Esta ferrita se formou devido à têmpera ter sido realizada na região intercrítica (região bifásica constituída de austenita e ferrita). A temperatura de têmpera medida na superfície, utilizando pirômetro a laser, foi entre  $715$  e  $740^{\circ}C$ , e a temperatura intercrítica para o aço estudado se encontra entre  $720$  e  $802^{\circ}C$  (Schmitz, 2006).

Registra-se ainda que a figura 3.c mostra uma baixa fração de ferrita, portanto, indicando uma alta porcentagem de austenita antes da têmpera. Tal porcentagem não era esperada, pois a faixa de temperaturas de têmpera situa-se na região inferior da zona crítica e, portanto, deveria apresentar elevada porcentagem de ferrita.



**Figura 4 – Microestrutura observada nas quatro condições experimentais na região 3, MEV.**

As amostras analisadas por MEV apresentam a mesma característica das microestruturas já observadas com microscopia ótica, porém não se observou a formação de ferrita na amostra de têmpera direta sem homogeneização – TD -SH (Fig. 4.c). A ausência de ferrita nessa amostra pode estar relacionada ao fato de se tratar de localização diferente daquela da figura 3.c (ainda na região 3), mas novamente indica que a temperatura real de têmpera esteve acima de  $Ac_3$  ( $802^{\circ}C$ ), não sendo consistente com o valor medido no pirômetro laser ( $715$  a  $740^{\circ}C$ ). As condições de processo, como carepa superficial e / ou distância do pirômetro durante a medição da temperatura podem ter influenciado a leitura.

As figuras 5 e 6 mostram os tamanhos de grãos da austenita prévia na região 3 de cada uma das condições experimentais. Pode-se observar que os tamanhos de grãos são similares, na região 3, para as três condições de têmpera direta, variando entre  $27$  a  $32\ \mu m$ , e menores para a têmpera convencional, cujo valor médio foi de  $11\ \mu m$ .

Os maiores tamanhos de grãos austeníticos obtidos na têmpera direta pode ser relacionada a alta temperatura de laminação (sem controle da temperatura entre passes), onde o efeito do boro e dos outros elementos liga em solução pouco contribuíram para retardar a recristalização e crescimento da austenita (Schmitz, 2006).

Os menores tamanhos de grãos austeníticos da têmpera convencional, é resultado do resfriamento (após conformação) até a temperatura ambiente e posterior reaquecimento para têmpera. As transformações de fases no resfriamento (final da laminação) e no reaquecimento que estão ausentes na têmpera direta refinam a microestrutura e reduzem os tamanhos de grãos austeníticos da têmpera convencional (Schmitz, 2006 e Tamura et al, 1988).

As figuras 7 e 8 mostram as microestruturas obtidas por microscopia ótica e eletrônica de varredura da região 2 (intermediária) para os três experimentos de têmpera direta localizada, TD – H  $830^{\circ}C$  figura (a), TD – H  $880^{\circ}C$  figura (b) e TD – SH figura (c), respectivamente.

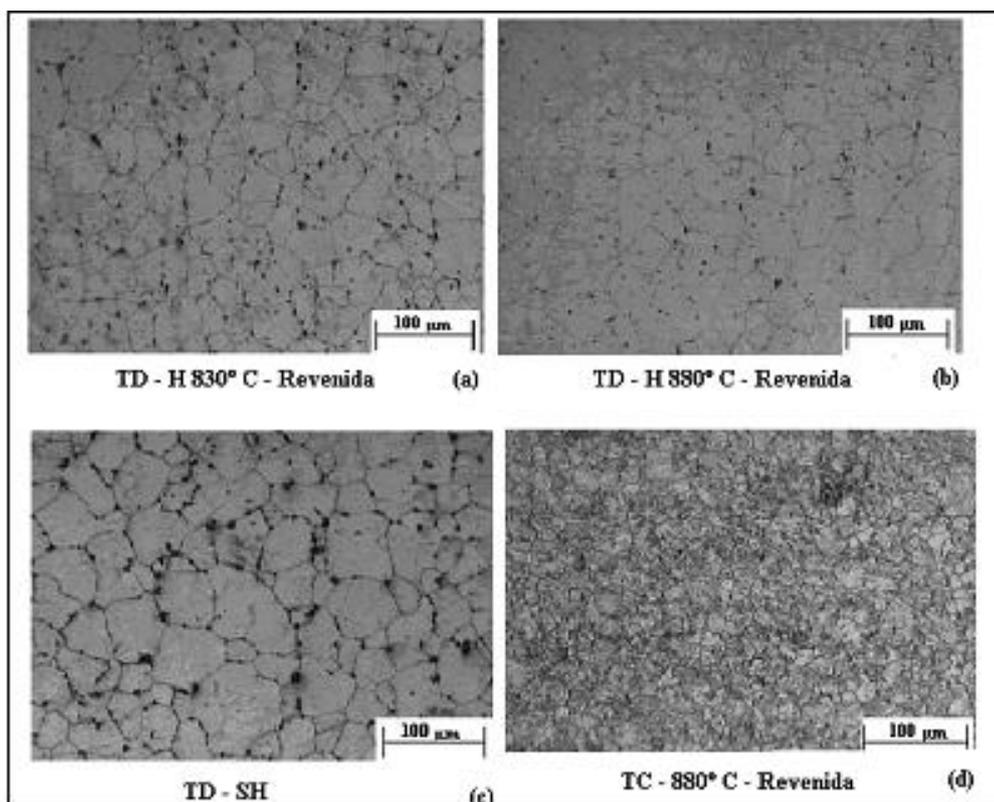


Figura 5 – Tamanho de grão austenítico da região 3 (temperada) das amostras.

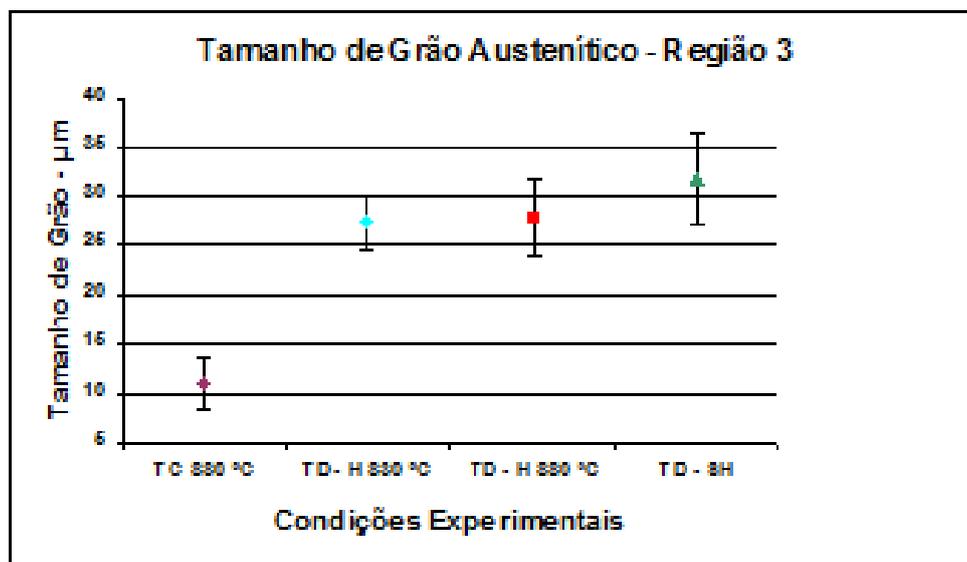


Figura 6 – Variação do tamanho de grão austenítico em função das condições experimentais

Nos três experimentos de têmpera direta localizada na região 2 foram observadas microestruturas contendo ferrita e mistura de bainita e martensita. Essas microestruturas também foram observadas por outros autores (Oliveira, 1994 e Tomita et al, 1985), em experimentos semelhantes. A microestrutura nessa região (2) pode ter sido influenciada pela variação da velocidade de resfriamento ocorrido durante os ensaios. A variação da velocidade de resfriamento entre os ensaios pode ter sido ocasionada pela flutuação da água no tanque de processo durante o resfriamento, outro efeito que pode ter afetado a microestrutura é a possível variação da posição de retiradas das amostras.

A figura 9 mostra a microestrutura obtida por microscopia ótica para os três experimentos de têmpera localizada na região 1. A região 1, está a 70 mm de distância acima da linha d'água.

Observa-se na figura 9 uma microestrutura constituída de perlita e ferrita nas três condições experimentais, que é típica de resfriamento lento neste aço (Schmitz, 2006). Não se observou efeito significativo das condições de têmpera direta no tamanho dos nódulos da perlita e na ferrita. Deve-se destacar que é nessa região que o perfil será furado e, portanto, deve ter uma microestrutura ferrítica / perlítica que possibilite a furação com baixo desgaste das ferramentas.

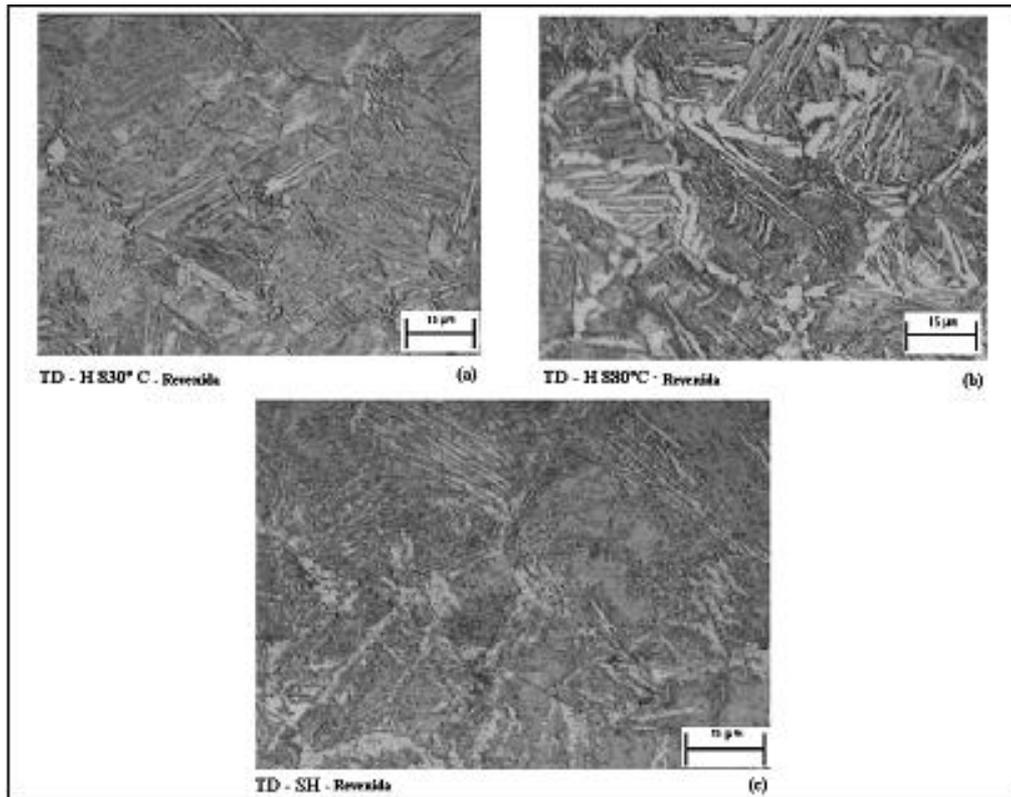


Figura 7 - Microestrutura observada por microscopia ótica nas amostras de têmpera direta na região 2

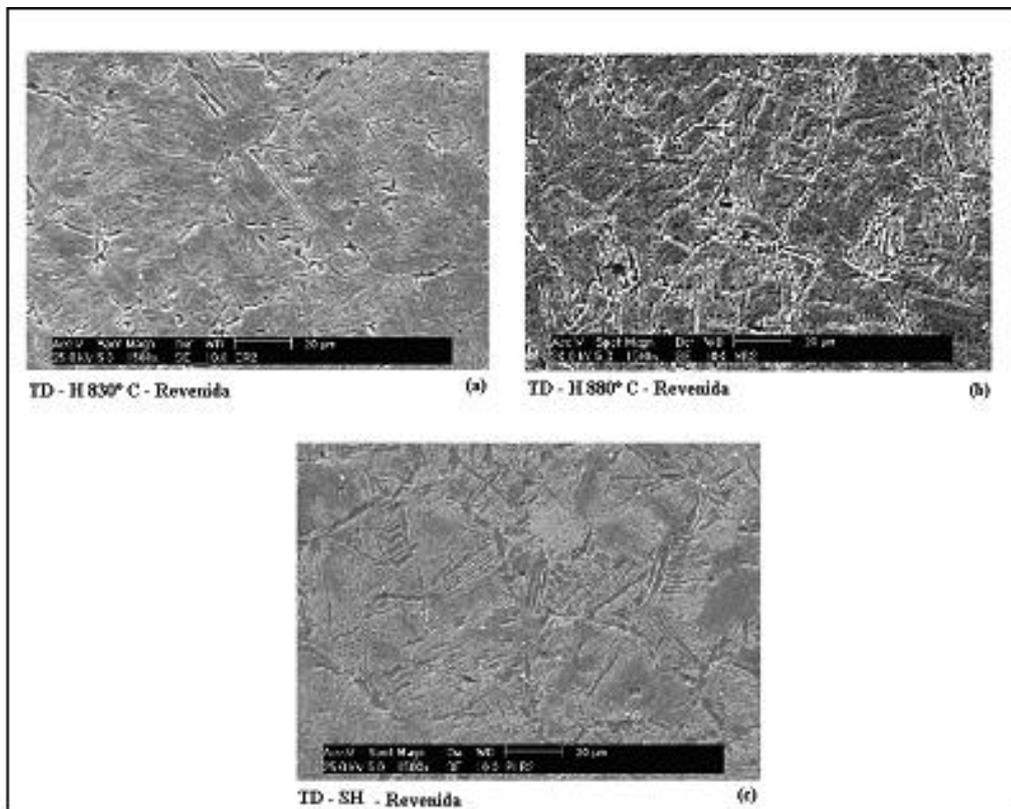


Figura 8 – Microestrutura observada por MEV das três condições experimentais de têmpera direta na região 2

A figura 10 mostra a variação do limite de resistência e de escoamento nas três regiões de ensaio para as quatro condições experimentais. Os resultados obtidos para a condição de têmpera convencional, na região 1 e 2 são mostrados

apenas de forma ilustrativa pois, como esta amostra foi temperada em toda a sua seção transversal as microestruturas obtidas nestas regiões são diferentes das outras condições experimentais.

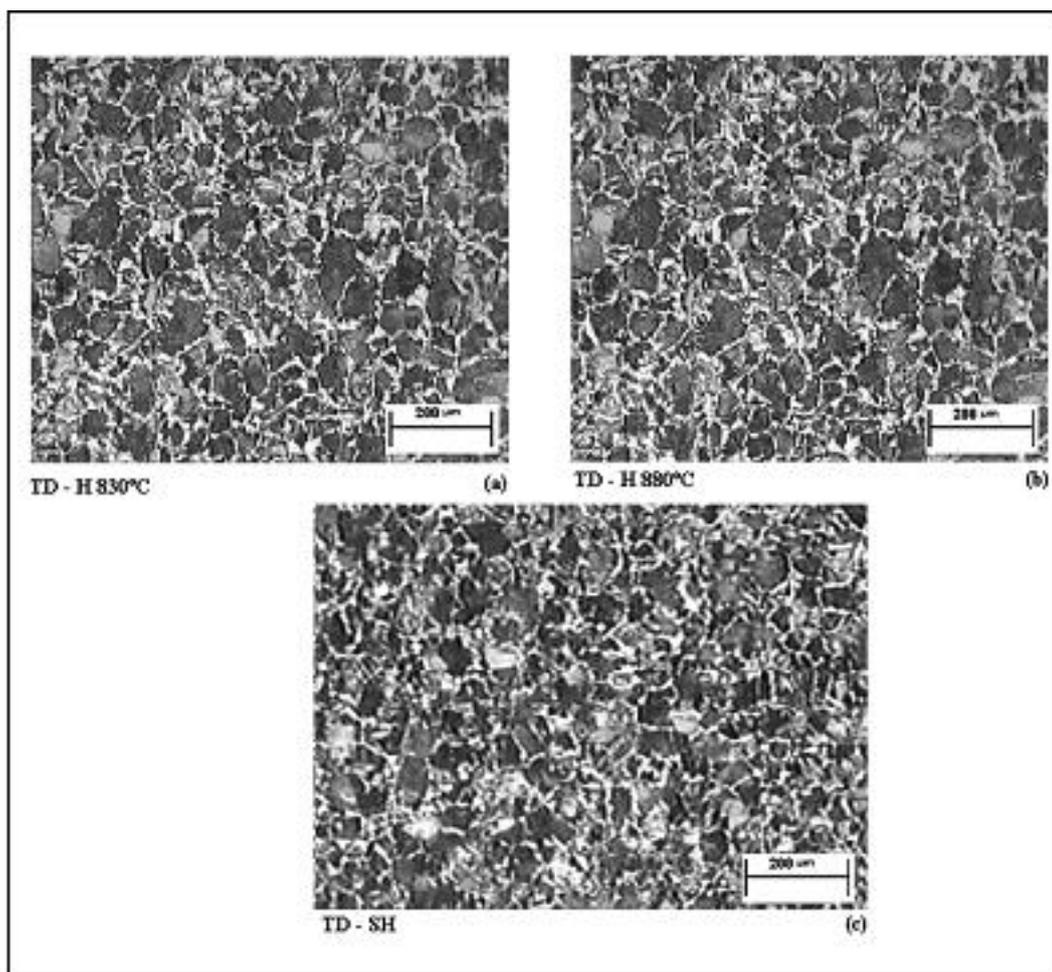


Figura 9 - Microestrutura observada das três condições de têmpera direta na região 1

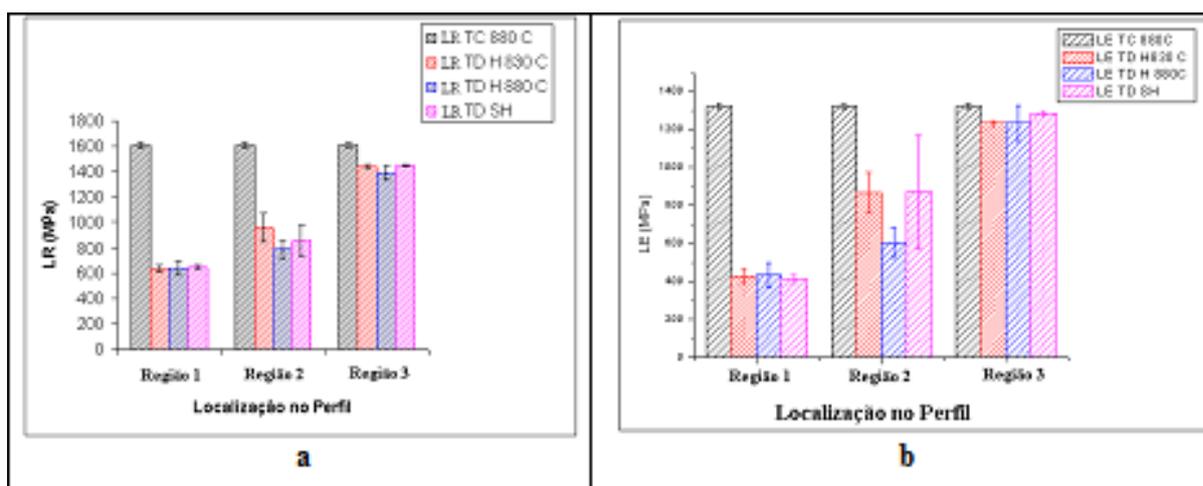


Figura 10 - Variação dos limites de (a) resistência e (b) de escoamento nas três regiões de ensaio para as quatro condições experimentais

Pode-se observar que os valores de limite de resistência e de escoamento na região 1 (furação) para as três condições de têmpera direta foram aproximadamente iguais, com baixa dispersão nos resultados, indicando que a velocidade de resfriamento nesta região não afetou a microestrutura, como mostrado na figura 9.

A região 2 apresentou para as três condições de têmpera direta localizadas maiores limites de resistência e de escoamento que a região 1, associando-se os resultados a maior velocidade de resfriamento e a microestrutura obtida, ferrita e mistura de bainita e martensita, conforme mostrado nas figuras 7 e 8.

Observa-se ainda na região 2, uma tendência a ter-se maior dispersão dos resultados de limites de resistência e de escoamento, quando comparado às demais regiões, possivelmente devido a diferença de velocidade de resfriamento (flutuação da água) que interferiu na transformação das fases nessa região. Com a flutuação da água e conseqüente variação da velocidade de resfriamento a porcentagem das fases variou, afetando os resultados. Não foi possível quantificar esta variação na porcentagem de fases.

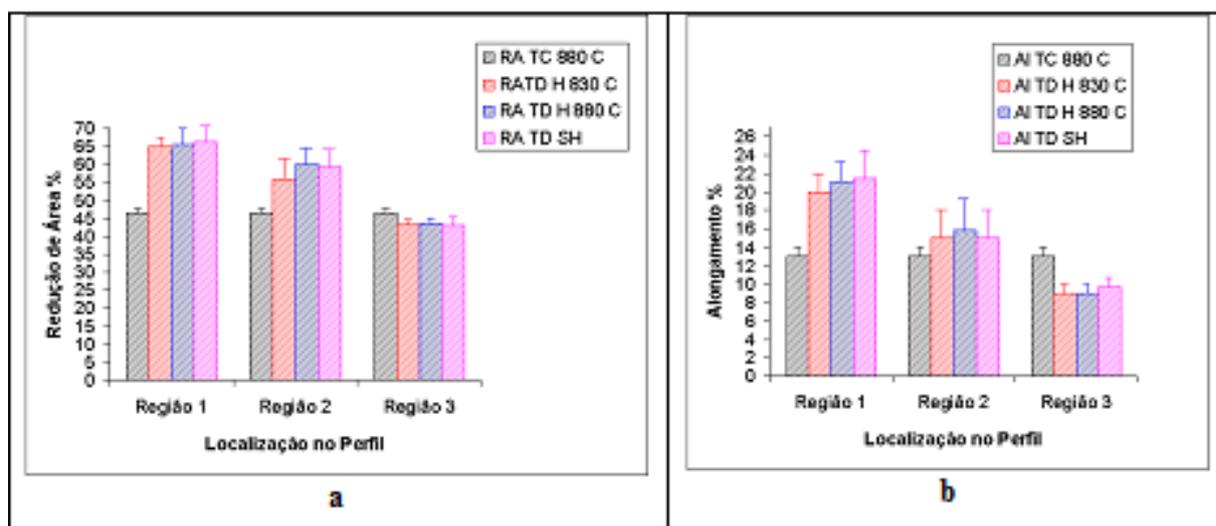
Na região 3 os resultados de limites de resistência e de escoamento para as condições experimentais de têmpera direta apresentaram valores próximos. Esses valores são os esperados para esse tipo de aço após a têmpera e revenido. Como visto anteriormente, a microestrutura obtida para as três têmperas diretas nessa região foi martensita revenida (figura 3 e 4), com exceção da condição TD –SH, que também apresentou ferrita alotriomorfa de contorno de grão, observa-se que a ferrita alotriomorfa não afetou significativamente o limite de resistência. Na têmpera convencional os limites de resistência e de escoamento obtidos foram superiores aos da têmpera direta devido ao menor tamanho de grão austenítico, que afeta a morfologia da martensita.

É importante citar, que existe grande dificuldade em realizar uma análise quantitativa dos fatores que influenciam a resistência da martensita, principalmente devido a não poder associar a resistência a um único efeito, mas, a combinação de vários fatores principais, associados com um número adicional de efeitos menores (Oliveira, 1994).

Embora, haja a tendência da condição de têmpera convencional resultar em limite de resistência maior que as outras condições de têmpera direta, esses valores estão dentro da faixa de especificação para as lâminas motoniveladoras fabricadas pela METISA.

Em termos gerais, as condições de têmpera direta apresentaram limites de escoamento e de resistência ligeiramente inferior a têmpera convencional, esses resultados foram associados as diferenças nos tamanhos de grãos austeníticos e melhor refino da microestrutura (Marder, 1984, Pickering, 1977 e Krauss, 1978).

Na figura 11 são apresentados os resultados de redução de área e alongamento, respectivamente, para as quatro condições experimentais nas três regiões de ensaio. Como para as propriedades relacionadas com a resistência do material, os resultados obtidos para a têmpera convencional, na região 1 e 2 são mostrados apenas de forma ilustrativa pois, como esta amostra foi temperada em toda a sua secção transversal as microestruturas obtidas nestas regiões são diferentes das outras condições experimentais.



**Figura 11 – Variação (a) da redução de área e (b) do alongamento para as três regiões do ensaio nas quatro condições experimentais**

A região 3 apresentou valores similares de redução de área e de alongamento para os experimentos de têmpera direta localizada e ligeiramente superiores para têmpera convencional. A pequena tendência das amostras obtidas por têmpera convencional apresentarem maiores redução de área e alongamento pode ser atribuído ao refino da microestrutura.

Na região 2 as amostras obtidas por têmpera direta apresentaram aproximadamente os mesmos valores de redução de área e alongamento, estes são maiores que na têmpera convencional. Estes resultados estão associados as microestruturas obtidas nos experimentos. As microestruturas da têmpera direta foram; ferrita e mistura de bainita e martensita (figuras 7 e 8), enquanto que na têmpera convencional, em que o perfil foi temperado por inteiro, obteve-se martensita.

Na região 1 as amostras obtidas por têmpera direta localizada apresentaram aproximadamente os mesmos valores de redução de área e alongamento.

Em termos gerais, as ductilidades avaliadas pela redução de área e alongamento, para as três condições experimentais de têmpera direta localizada nas três regiões de ensaio, comparando-as individualmente, não tiveram variações significativas. Este fato sugere que as condições experimentais não influenciaram na ductilidade.

#### 4. CONCLUSÕES

Nas condições de têmpera direta localizada não houve variação significativa nas propriedades mecânicas e microestruturas quando comparadas as regiões 1.

Para fins de produtividade e melhor desempenho do produto durante a aplicação, a microestrutura obtida na região 1 (ferrita e perlita) nas condições de têmpera direta, desempenha propriedades adequadas, pois evitaria maiores desgastes das ferramentas de furação (punção e brocas) no processo de acabamento.

A região 2 para as condições de têmpera direta, apresentou dispersão nos resultados do ensaio de tração. A microestrutura observada para as três condições de têmpera direta foi ferrita e mistura de bainita e martensita. Essa dispersão foi atribuída à variação na velocidade de resfriamento provocado pela flutuação da água durante os ensaios de têmpera, que interferiu na transformação de fases e na quantidade de cada fase. Vale a pena lembrar, que para fins de aplicabilidade do produto final, a região 2 (intermediária) da lâmina, não sofrerá grandes solicitações mecânicas por se tratar de uma região que fica entre a região 3 (contato direto com o solo) e a região 1 (furação).

A melhor de ductilidade (redução de área e alongamento) obtida na têmpera convencional foi associada ao maior refino do grão austenítico.

As rotas alternativas propostas para a fabricação de lâminas motoniveladoras, por têmpera direta localizada resultaram experimentalmente em valores iguais para a três condições de têmpera direta nas regiões 1, 2 e 3, indicando que não houve efeito significativo das temperaturas de homogeneização (reaquecimento) nas propriedades obtidas nessas regiões. Na comparação com a têmpera convencional na região 3, entretanto, os limites de resistência e de escoamento e a ductilidade foram menores. Para fins de aplicabilidade do produto, os valores são aceitáveis, sendo necessário estudos sobre tenacidade.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Metalúrgica Timboense SA (METISA) pelo apoio financeiro.

#### 6. REFERÊNCIAS

- Kozasu, I.; "International Conference on Physical Metallurgy of Thermomechanical Processing of Steel and Other Metal, Thermec 88", Tokio, The Iron and Steel Institute of Japan, 420 (1988)
- Oliveira, C.A.S.; "Têmpera Direta de Aços Baixa Liga: Aspectos Cinéticos, Microestruturais e de Propriedades Mecânicas". 1994. 245F. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro
- Schmitz, E. "Efeito dos Processos de Têmpera Direta e Convencional na Microestrutura e Propriedades Mecânicas dos aços 15B30 e 15BCr30". 2006. 123 F. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina;
- Tamura, I.; Sekine, H. Tanaka, T. E Ouchi, C. "Thermomechanical Processing of High-Strength low Alloy Steel", London, Butterworth e Co. Ltd (1988);
- Tomita, Y e Okabayashi, K.; "Metall Trans." 16 A, 73, (1985).
- Marder, A. R.; "Phase Transformation in Ferrous Alloys". Proc. of an Int. Conf. Warrendale, TMS-AIME, p.11-41 (1984);
- Pickering, F. B.; "The optimization of microstructures in steel and their relationship to mechanical properties". Chicago: D.V Doane; J.S Kirkaldy, . TMS-AIME, 179-225 (1977);
- Krauss, G.; "Hardenability Concepts with Applications to Steel", Warrendale, TMS-AIME, 229,(1978);

#### 7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.



**VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil**  
*August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil*

## **THE EFFECT OF QUENCHING AND LOCAL DIRECT QUENCHING ON THE GRADER BLADE CHARACTERISTICS**

**Claudiomar de Souza Tavares, [tec@metisa.com.br](mailto:tec@metisa.com.br)<sup>1</sup>**  
**Carlos Augusto Silva de Oliveira, [carlosa@emc.ufsc.br](mailto:carlosa@emc.ufsc.br)<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Metisa- Metalúrgica Timboense SA. Timbó -SC,

<sup>2</sup>UFSC, Departamento de Engenharia Mecânica, Campus Universitário, Trindade, CEP: 88040-900, Florianópolis, SC

**Abstract.** *In this work, is made a comparative study of the local direct quenching process (hot rolling, quenching immediately after rolling and tempering) with the conventional process to determine the possibility of substituting conventional quenching process by the local direct quenching process for the manufacturing of grader blade to reducing the cost of the product by the elimination of reheating after rolling. The effect of the quenching conditions was studied in 15B28 steel.*

**Keywords:** *Direct quench, Quenching, 15B28 steel, Grader blade*