



DESENVOLVIMENTO DE TIRAS DE AÇO TEMPERADAS PARA A APLICAÇÃO EM MOLAS DO DISCO DE EMBREAGEM¹

*Fernando Suzumura Kawata²
Carlos Roberto Gianini Junior³
Luis Fernando Maffei Martins⁴*

Resumo

O setor automotivo tem, nos últimos anos, aumentado significativamente sua produção, ao mesmo tempo em que exige de seus fornecedores uma melhoria contínua na qualidade de seus produtos. O segmento de autopeças tem se adequadado a estas demandas e tem definido requisitos mais rigorosos na especificação de componentes como, por exemplo, embreagens. O objetivo deste trabalho é apresentar o desenvolvimento do processo de fabricação de tiras de aço temperadas na Mangels – Divisão Aços para aplicação em molas de disco de embreagem, desenvolvimento este necessário após uma solicitação de um fabricante de embreagens para a redução da variação de propriedades mecânicas apresentadas nos rolos temperados. A matéria prima utilizada para a fabricação de molas do disco de embreagem é o aço DIN Ck75. Apresenta-se neste trabalho as alterações de processo de fabricação necessárias para atender à exigência de maior capacidade do produto, bem como as propriedades mecânicas e microestrutura adequadas para esta aplicação.

Palavras-chave: Martêmpera; Mola para disco de embreagem; Tira temperada; Capacidade.

DEVELOPMENT OF HARDENED AND TEMPERED STEEL STRIPS FOR CLUTCH SPRINGS APPLICATIONS

Abstract

In the last years, the automotive market has increased the production of vehicles and, at the same time, demanded for higher quality level. The autoparts industries have been working in order to achieve the new demands, defining more accurate specifications for their components as clutches. The objective of this paper is to present the development of the process production of hardened and tempered steel strips for application as clutch springs. The raw material used is the CK75 steel. It will be presented the modifications of the process in order to achieve the demand for a higher capability of the product, as well the mechanical properties and the microstructure adequate for application as clutch springs.

Key words: Martempering; Clutch springs; Hardened and tempered steel strip; Capability.

¹ *Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

² *Engenheiro Metalurgista, Engenheiro de Processos da Mangels Divisão Aços.*

³ *Engenheiro Metalurgista, Supervisor de Tratamento Térmico da Mangels Divisão Aços.*

⁴ *Engenheiro Metalurgista, Mestre em Eng. Materiais, Gerente de Engenharia, Qualidade e Tecnologia da Mangels Divisão Aços.*



1 INTRODUÇÃO

A indústria automotiva, um dos mais importantes segmentos industriais do Brasil, tem apresentado nos últimos anos um grande crescimento na produção de veículos, com exceção do ano de 2009 quando a produção esteve estável em função da crise mundial. Para o ano de 2010 é esperada a retomada no crescimento da produção,⁽¹⁾ o que implica na necessidade de aumento de produtividade em toda a indústria automotiva, o que já tem ocorrido nos últimos anos. A necessidade de aumento da produtividade implica em processos com maior capacidade, aliado às exigências de redução de custo de fabricação e melhoria na qualidade do produto. Além desse crescimento de produção de veículos, vale a pena ressaltar um crescimento futuro de peças de reposição, sendo que o mercado aponta um déficit futuro nesse setor em função do grande aumento da frota. Só no estado de São Paulo, estima-se que a frota de automóveis tenha atingido 20 milhões de automóveis em dezembro de 2009. A Figura 1 mostra o crescimento de automóveis licenciados no estado de São Paulo nos últimos anos.

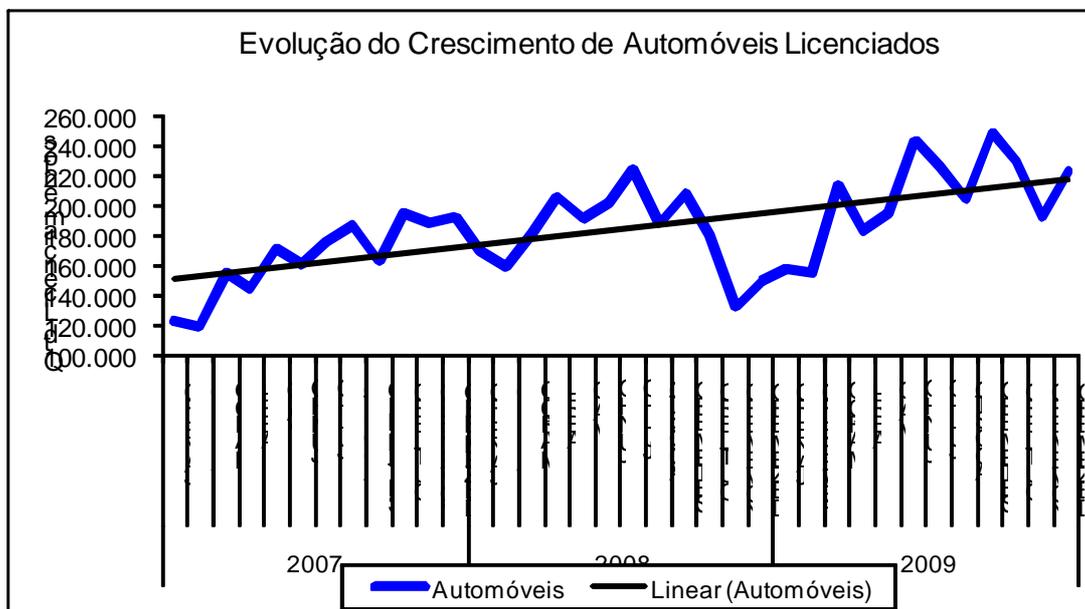


Figura 1. Evolução do crescimento de automóveis licenciados no Estado.⁽²⁾

Dentre os diversos componentes dos automóveis, as embreagens compõem um mercado importante no segmento de autopeças, pelo volume de produção, pela sua complexidade e pela tecnologia empregada na sua fabricação. Diversos são os itens utilizados para compor uma embreagem, desde aços planos, passando por arames e fundidos. Também são utilizadas diferentes qualidades de material como aços com baixo teor de carbono, aços ligados, aços com alto teor de carbono e com diferentes processamentos como encruados, recozidos e temperados.

O sistema de embreagem, ilustrado pela Figura 2, serve para conectar o volante do motor, que faz o carro se deslocar, com a caixa de marchas, que é um conjunto de engrenagens.



Figura 2. Sistema de embreagem com o platô e disco de embreagem.⁽³⁾

O funcionamento desse sistema é simples, quando o carro precisa ser deslocado e o pedal é acionado a troca de marcha, todo o sistema é recuado e o sistema de embreagem se desconecta do volante e da caixa de marchas como mostra a Figura 3.

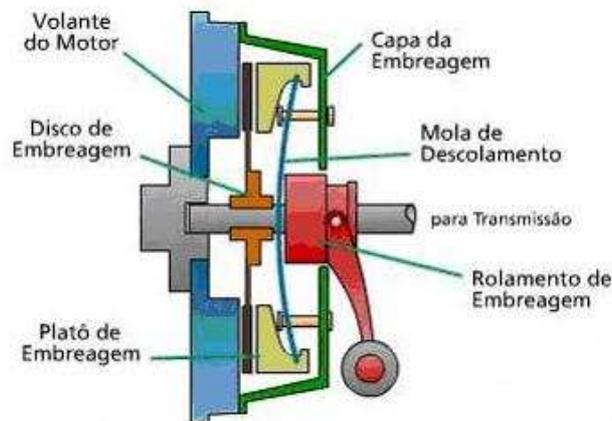


Figura 3. Sistema de embreagem com acionamento do pedal.⁽⁴⁾

Depois de engatada a marcha e sem o acionamento do pedal da embreagem todo o sistema é pressionado, como mostra a Figura 4, contra o volante do motor possibilitando a transmissão da força do motor para o deslocamento do automóvel.

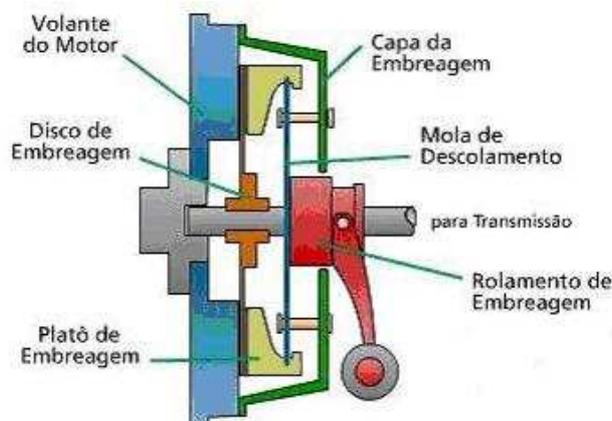


Figura 4. Sistema de embreagem sem acionamento do pedal possibilitando o deslocamento.⁽⁴⁾



Para que a embreagem trabalhe com o máximo de suavidade e livre de trepidações nos momentos de acoplamento e desacoplamento do sistema disco de embreagem / volante do motor, são instaladas nos discos de embreagem uma série de molas que servem para apoio e amortecedor, ilustrados pelas Figuras 5 e 6.

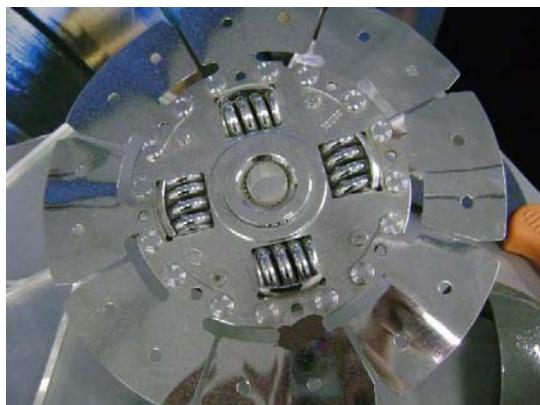


Figura 5. Disco de embreagem.



Figura 6. Mola do disco de embreagem.

O objetivo deste trabalho é apresentar o desenvolvimento e aprimoramento da produção de tiras de aço com alto teor de carbono temperadas para a aplicação em molas do disco de embreagem automotivo. Este produto necessita de alta capacidade do processo de têmpera para resultar em baixa variação dimensional durante a estampagem das molas. O mercado de tiras de aço temperadas para a aplicação em molas do disco de embreagem é da ordem de 150 toneladas / mês.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para a fabricação de molas do disco de embreagem é utilizado como matéria prima o aço DIN CK75, similar ao SAE 1078. As dimensões das tiras utilizadas variam em função do projeto da embreagem, mas, normalmente, apresentam espessura na faixa de 0,60 mm a 0,90 mm e largura entre 50,0 mm e 90,0 mm.

O processo de fabricação de tiras de aço temperadas utilizado pelas empresas do segmento de relaminação utiliza como matéria prima bobinas laminadas a quente e compõe-se das seguintes etapas:

- decapagem: remoção dos óxidos superficiais provenientes da laminação a quente;

- corte longitudinal: adequação da largura do material à especificação do produto final;
- laminação a frio: encruamento e redução da espessura do material;
- recozimento: tratamento térmico de recristalização e refino da micro-estrutura do material;
- laminação a frio para acabamento: leve encruamento para adequação da forma, espessura e acabamento superficial;
- têmpera em meio contínuo: tratamento térmico que visa a obtenção de micro-estruturas e propriedades mecânicas específicas, como maior dureza e limite de resistência.

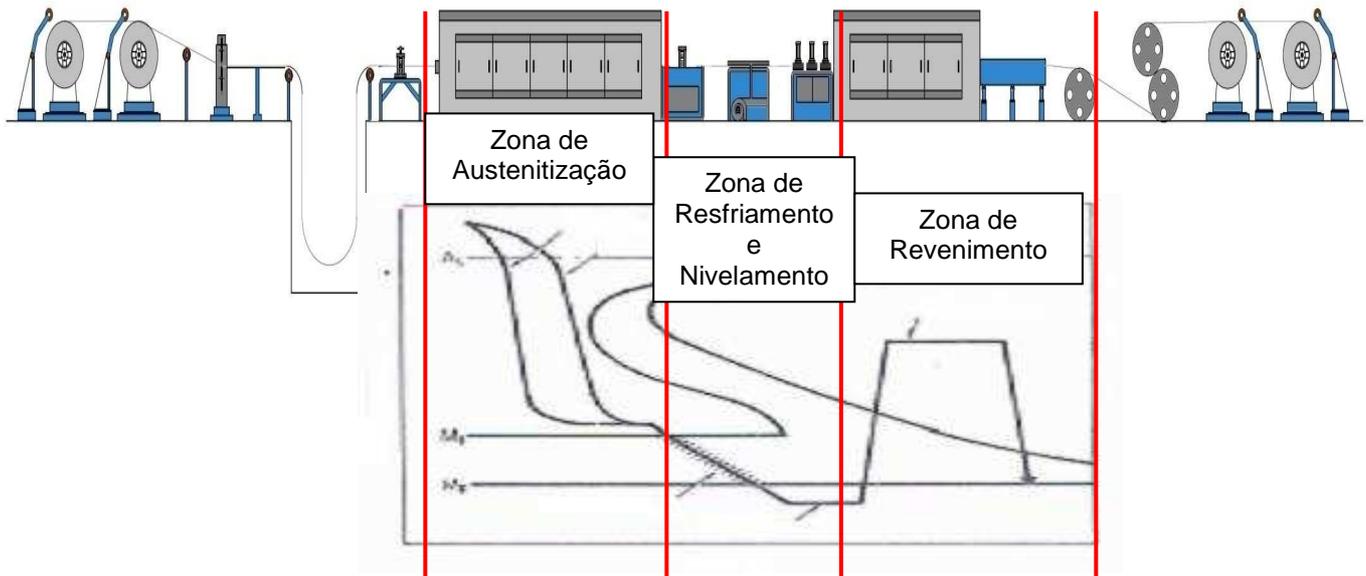


Figura 7: Forno de martêmpera contínuo com a curva Tempo-Temperatura-Transformação para formação da martensita.

Para a produção de tiras temperadas são utilizados fornos contínuos de martêmpera que são compostos por:

- desbobinador;
- zona de austenitização;
- zona do tanque de banho metálico;
- zona de resfriamento;
- zona de pré-forma;
- zona de revenimento; e
- bobinamento.

O tratamento térmico de martêmpera⁽⁵⁾ é definido quando o aço austenitizado é resfriado rapidamente até uma temperatura intermediária em um banho de liga metálica, é mantido nesta temperatura até a equalização da temperatura entre núcleo e superfície da tira, e a seguir é resfriado até a temperatura ambiente, obtendo-se uma microestrutura martensítica. A seguir o material é novamente aquecido para o revenimento, obtendo-se a microestrutura de martensita revenida.

As variáveis de processo que mais influenciam no processo de martêmpera contínua, e que estão sendo controladas nesse trabalho, são:

- composição química no material;
- velocidade da passagem do material na linha; e
- temperaturas das diversas zonas do forno.

As variações nos parâmetros descritos acima implicam na variação das propriedades mecânicas resultantes. Visando uma maior produtividade na fabricação das molas, bem como um maior nível de qualidade da embreagem, um fabricante de embreagens solicitou que a Mangels aprimorasse seu processo de fabricação para reduzir a variação de propriedades mecânicas ao longo dos rolos temperados.

Para a fabricação da mola a tira temperada passa por uma conformação onde é impresso na peça um degrau, conforme Figura 8, que ao ser solicitado serve de efeito mola minimizando as trepidações causadas pelo disco de embreagem. A variação das propriedades mecânicas ao longo de um rolo implica na alteração da altura deste degrau. Recentemente a indústria de embreagens classificou a altura do degrau como uma característica crítica do produto final, exigindo uma grande uniformidade desta dimensão. Ao apresentar variação de propriedades, cada rolo exigia, com a nova especificação de altura, constantes paradas na estampagem das molas para ajuste do processo, reduzindo assim a produtividade. A propriedade mecânica escolhida para este estudo foi o limite de resistência.

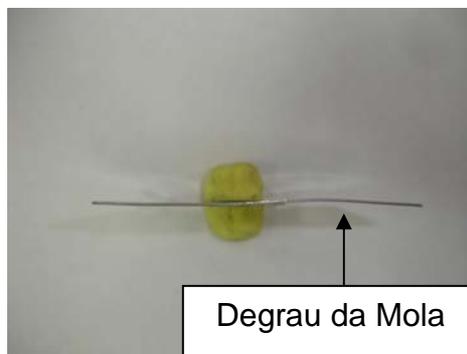


Figura 8. Degrau na mola para disco de embreagem.

Para tornar o produto capaz e propiciar menor desvio no degrau da mola foi realizado um estudo da capacidade do processo onde verificou-se que a variação do limite de resistência dentro de um mesmo rolo podia atingir valores próximos a 100 MPa, como mostra a Figura 9.

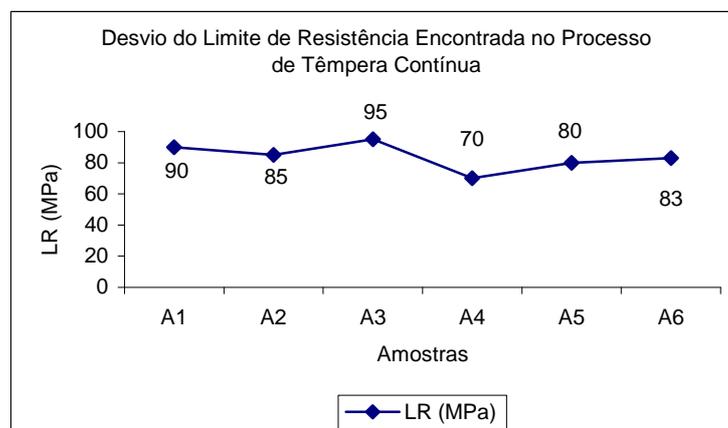


Figura 9. Diferença do Limite de Resistência entre rolo nos materiais testados no forno contínuo de têmpera.



Para o estudo da capacidade do processo, utilizamos como ferramenta o WinCEP para extrairmos os valores de Cp e Cpk. Para esse levantamento foram utilizadas 30 amostragens.

Cp = é um índice que compara a capacidade do processo a variação máxima permitida pela tolerância.

Cpk = é um índice de capacidade que leva em conta a centralização do processo e a capacidade em uma curva normal, sendo calculado da seguinte maneira:

$$\text{MIN} \left(\frac{\text{LSE} - \bar{X}}{3\hat{\sigma}}, \frac{\bar{X} - \text{LIE}}{3\hat{\sigma}} \right)$$

Onde:

LSE = Limite Superior de Especificação

LIE = Limite Inferior de Especificação

\bar{X} = Média do processo

$\hat{\sigma}$ = Desvio-padrão estimado

A capacidade de um processo é definida pelo valor encontrado de Cpk: ⁽⁶⁾

- o Processo incapaz: Cpk < 1
- o Processo aceitável: 1 ≤ Cpk ≤ 1,33
- o Processo capaz: Cpk ≥ 1,33

De cada rolo processado neste trabalho foram retiradas quatro amostras ao longo de seu comprimento, tendo sido medida a variação entre o maior e o menor valor de limite de resistência encontrada em cada rolo.

3 RESULTADOS

Para não termos variações devidas a velocidade do processo, utilizamos o valor de 7 m/min de modo constante. A única variação que fizemos nos ensaios foi a das temperaturas do processo de têmpera, visando atingir uma melhor homogeneização da estrutura.

Para iniciar o desenvolvimento foram utilizados os seguintes parâmetros.

Tabela 1. Parametrização inicial do forno para teste de capacidade

	Austenitização (°C)	Revenimento (°C)	Tanque de Resfr. (°C)	Forno de Nivelamento (°C)
Forno de TR	930 - 980	430 - 500	210 - 280	310 - 380

Para acompanhamento dessas temperaturas utilizamos o diagrama TTT para testarmos as variações da temperatura nos fornos, conforme Figura 10.

Para a definição da variação do limite de resistência de cada rolo, foram realizadas retiradas de amostras no início do rolo, a ¼ do comprimento do rolo, a ¾ do rolo e no final, ou seja, retiramos 4 amostras por rolo para verificarmos a diferença entre as amostras no mesmo rolo. Nessa primeira fase cujo objetivo era entender o estado inicial, realizamos o experimento com 3 rolos de velocidade constante igual a 7 m/minuto com as dimensões de 0,60 mm de espessura e 84,0 mm de largura, e



para assegurar que as parametrizações eram reais foram trocados os termoelementos duplos e acompanhadas pelo relatório do supervisor do forno.

C 70 W 1 0.76% C - 0.29% Mn (SAE 1078)
 Composition: 0.76% C - 0.29% Mn - 0.22% Si - 0.008% P -
 0.008% S - 0.11% Cr - 0.17% Cu - 0.019% Mo - 0.07% Ni -
 0.02% V Austenitized at 810°C (1490°F)

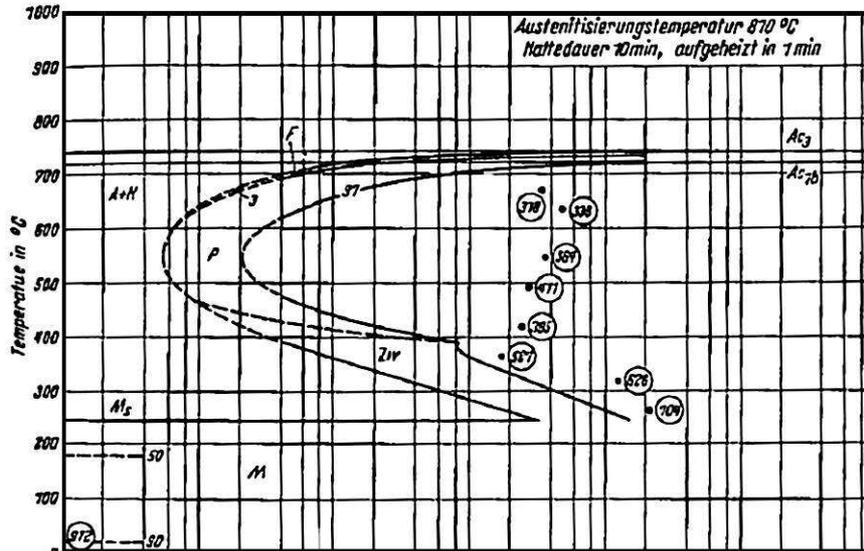


Figura 10. Curva TTT para o SAE 1078.⁽⁷⁾

As primeiras 3 amostragens dos rolos saíram com os seguintes resultados:

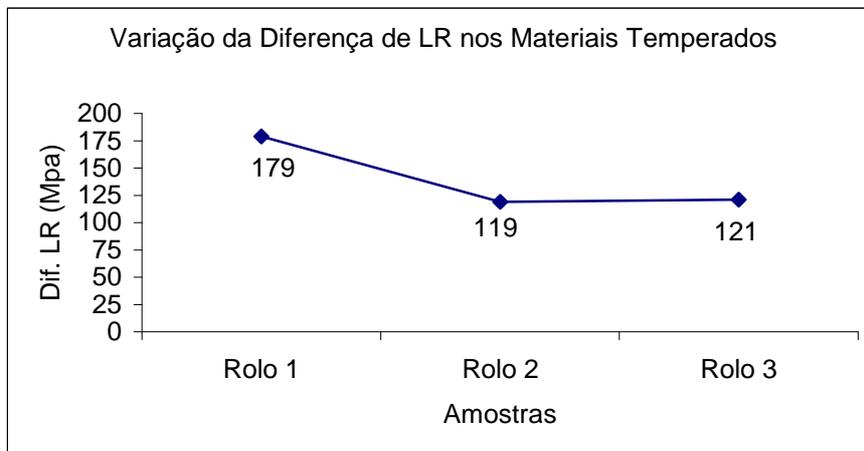


Figura 11. Diferenças iniciais do LR nos Rolos de Teste.

Antes de qualquer alteração realizamos um estudo de capacidade utilizando o WinCEP para gerarmos o Cp e o Cpk para verificarmos o quanto capaz seria o nosso processo de têmpera.

Após essas amostragens iniciamos os estudos visando a redução da variação das propriedades mecânicas. Foi identificada como causa raiz da variação do limite de resistência a variação da temperatura de processo das várias zonas do forno ao longo do processamento dos rolos. As faixas de temperaturas especificadas para o processamento do material foram reduzidas e definidas especificamente para diferentes faixas de composição química do material. Desta forma as faixas de trabalho de temperatura foram reduzidas da forma apresentada na Tabela 2.

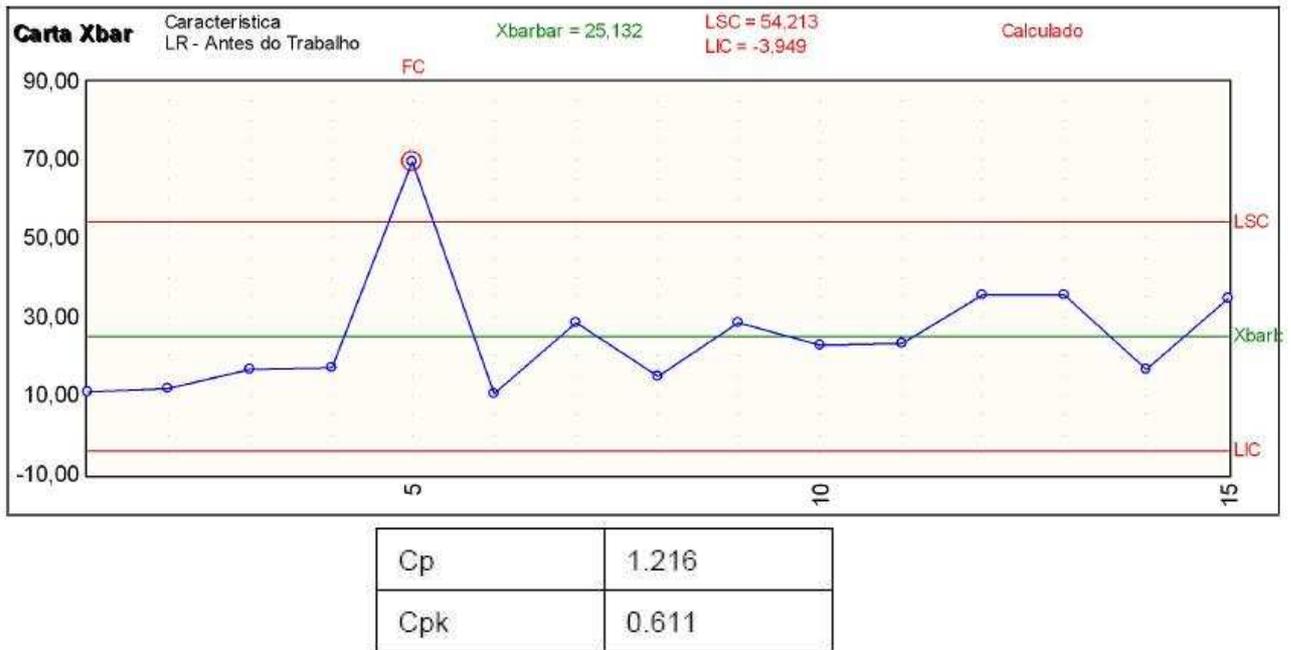


Figura 12. Carta dos desvios obtidos nos rolos de teste e o valor do Cpk antes das melhorias.

Tabela 2. Faixa obtida nos teste de melhoria na capacidade

	Austenitização (°C)	Revenimento (°C)	Tanque de Resfr. (°C)	Forno de Nivelamento (°C)
Faixas de trabalho	De 50°C para 10°C	De 70°C para 20°C	De 70°C para 20°C	De 70°C para 20°C

Com a diminuição da faixa de trabalho das temperaturas conseqüentemente conseguimos uma menor variação das propriedades e uma melhor homogeneidade da microestrutura. Os resultados da diferença de LR ao longo dos rolos ficaram em média de 32 MPa. A ordem de grandeza do LR das molas para disco de embreagem é de 1.800 MPa, podendo variar em função do projeto da embreagem.

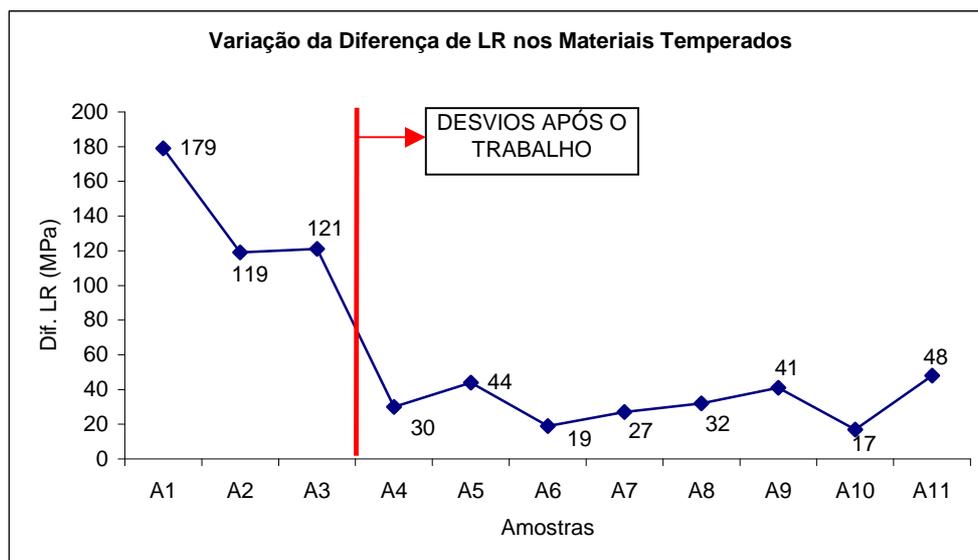


Figura 13. Diferenças finais do LR nos Rolos de Teste.

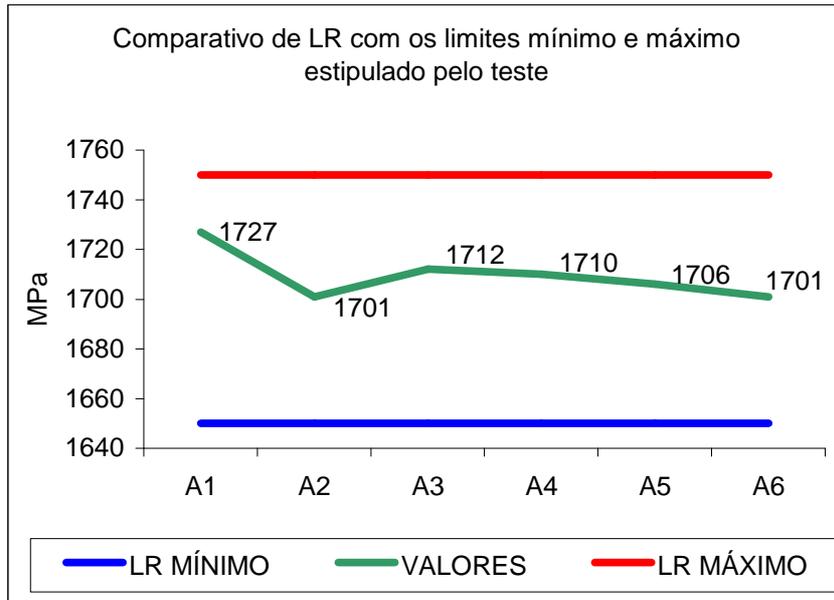


Figura 14. Comparativo dos valores atingidos com os limites estipulados no teste.

Analisando também os dados durante alguns meses utilizando o desvio padrão os valores se mantiveram inferiores a 50 MPa, com uma média de 20 MPa de variação nas quatro regiões do rolo em que foram retiradas amostras.

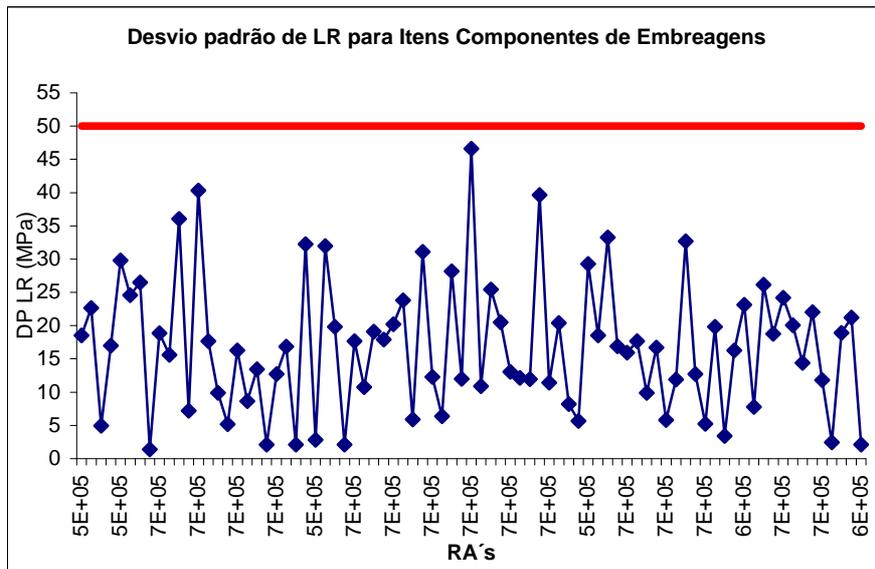


Figura 15. Diferenças de LR de materiais produzidos.

Realizado o estudo da capacidade do processo após a nova especificação de temperaturas de têmpera, constatou-se a melhoria do Cpk, que atingiu o valor de 2,422, demonstrando que o processo pode ser considerado capaz.

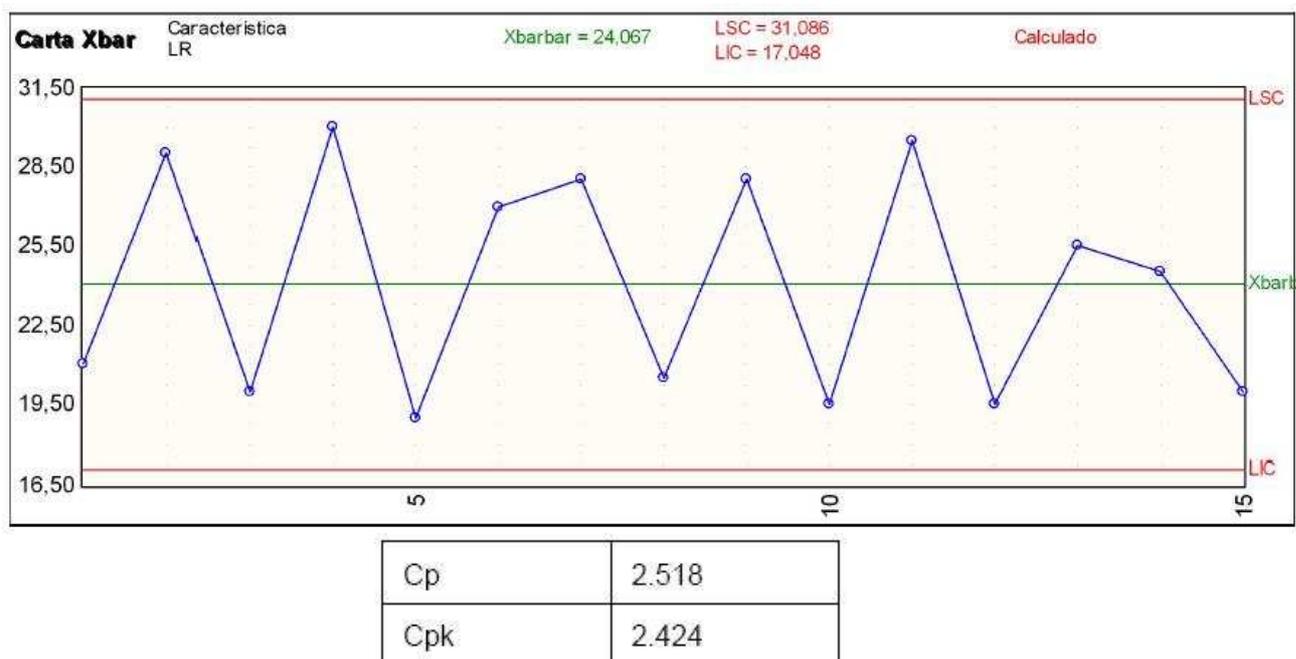


Figura 16. Carta dos desvios obtidos nos rolos de teste e o valor do Cpk depois das melhorias.

A microestrutura típica dos materiais processados , martensítica revenida, é apresentada na Figura 7.

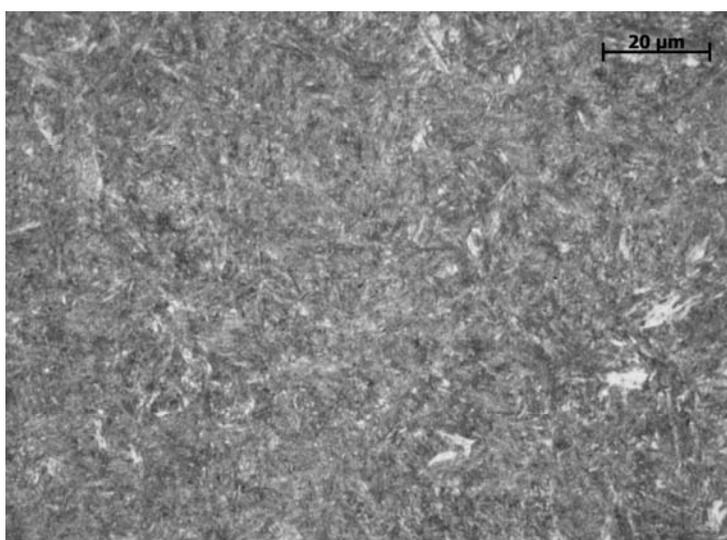


Figura 17. Martensita revenida, ataque Nital 3% com aumento de 500X.

4 DISCUSSÃO

As diferenças entre os limites de resistência em um mesmo rolo estavam sendo influenciadas diretamente pela variação de temperatura em que os materiais estavam sendo processados.

Com a diminuição da faixa de trabalho de temperaturas o processo tornou-se mais estável atendendo às exigências quanto a variação do limite de resistência ao longo do rolo, que apresentou uma média de apenas 32 MPa, média esta que anteriormente a este desenvolvimento era de 84 MPa e cuja solicitação do fabricante de embreagens era de no máximo 50 MPa.

Portanto reduzimos em mais de 60% a diferença de propriedades mecânicas ao longo do rolo e a variação de dimensional da peça estampada no cliente, aumentando sua produtividade e qualidade.

5 CONCLUSÃO

Concluimos que os resultados obtidos mostraram que a capacidade do nosso processo melhorou em função das novas parametrizações onde as temperaturas têm uma menor faixa de trabalho favorecendo a estabilidade do forno e com isso uma menor diferença entre os valores medidos de limite de resistência nos rolos temperados nas regiões de início, $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{4}$ e final dos rolos.

REFERÊNCIAS

- 1 BALZA, G. Panorama de crescimento de veículos no estado de SP, Set. 2009. Disponível em: <<http://noticias.uol.com.br/especiais/transito/2009/09/22/ult5848u59.jhtm>> Acesso em: 15 jan. 2010.
- 2 ANFAVEA. Tabela Estatística de Quantidade de Veículos Licenciados no Estado, Set. 2009. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/tabelas.html>> Acesso em: 15 jan. 2010
- 3 BETTIN VALEO. Sistema de embreagem. Disponível em: < <http://bettin.com.br/wp-content/uploads/2009/02/embreagem-valeo.jpg>> Acesso em: 15 jan. 2010
- 4 NICE, K. Como funcionam as embreagens. Disponível em: < <http://carros.hsw.uol.com.br/embreagem.htm>> Acesso em: 10 jan. 2010
- 5 ASM Handbook. Heat Treating. USA: ASM International, 1991. cap. Martempering of steel, p. 115-161.
- 6 CHRYSLER CORPORATION; FORD MOTOR COMPANY; GENERAL MOTORS CORPORATION, Controle Estatístico do Processo (CEP). Manual de referência, 2005. Segunda edição. Cap. IV, p. 131-138.
- 7 VANDER VOORT, G.F. ATLAS OF TIME-TEMPERATURE DIAGRAMS FOR IRONS AND STEELS. Atlas de diagramas de tempo-temperatura. PA-USA: Carpenter Technology Corporation, 1991. cap. German Steels, p. 115-161