

ALTERAÇÃO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA ESPECIFICAÇÃO T50, VISANDO A MELHORIA DA PROPRIEDADE MECÂNICA DUREZA¹

Marcos Delane de Souza²
Carlos Agenor Onofre Cabral³
Eduardo Amorim Motta⁴
Marcelo Porto Silva⁵

Resumo

A CSN é a única empresa fabricante de folhas de flandres e cromada no Brasil, com uma capacidade de produção de 1 Milhão de toneladas anuais. As folhas metálicas são produzidas como material de simples redução (passe de encruamento de 2% máximo) ou como dupla redução (passe de encruamento de até 34%). Os materiais de simples redução são especificados pela norma NBR 6665 por dureza como T50, T52, T55, T57, T61 e T65. O presente trabalho aborda a otimização do fluxo produtivo para a produção da especificação NBR 6665 T50, a folha metálica de menor dureza utilizada para produção de embalagens metálicas e componentes com alto grau de conformação. Foi utilizado um método de identificação, caracterização e eliminação das causas de ocorrências da propriedade mecânica dureza fora do especificado. Após analisar várias correlações de dureza x composição química, foi obtido um excelente coeficiente de correlação (R^2), onde foi possível atuar no processo redefinindo a composição química do aço. Após agir e padronizar o processo, verifica-se o retorno da propriedade dureza à uma condição de estabilidade, eliminando as ocorrências e obtendo um processo altamente capaz.

Palavras-chave: Correlação; Dureza; Composição química.

¹ 42º SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO – Processos e Produtos Laminados e Revestidos – 25 a 28 de outubro de 2005 – Santos - SP.

² Engenheiro de Desenvolvimento, GTME-CSN, Engenheiro Metalúrgico.

³ Coord. de Projetos Especiais, GGDP/GPD-CSN, Engenheiro Químico, MSc.

⁴ Engenheiro de Desenvolvimento, GGFM/GLF-CSN, Engenheiro Metalúrgico.

⁵ Engenheiro de Desenvolvimento, GTME-CSN, Engenheiro Metalúrgico.

1 INTRODUÇÃO

A Folha Metálica da especificação NBR 6665 T50, é utilizada para confecção de latas onde se exige um alto grau de estampagem (estampagem extra profunda).

O fluxo de produção da folha metálica na CSN é ilustrado na Figura 1 abaixo:

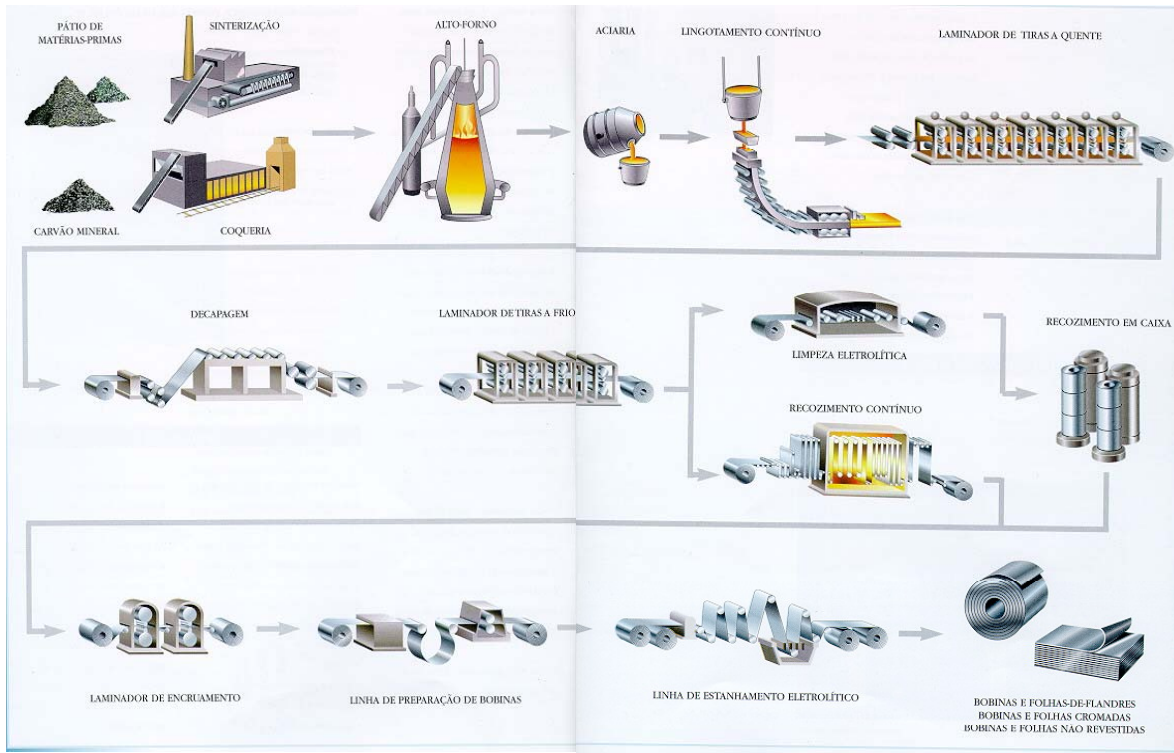


Figura 1. Fluxo de produção da Folha Metálica.

A produção da folha metálica na especificação NBR 6665 T50 é feita através dos fornos de recozimento em caixa. As espessuras variam de 0,21 a 0,45 mm, com um grau de redução a frio que varia de 90,7 a 81,5%, respectivamente.

A literatura indica que o grau de deformação e a composição química tem uma influência na propriedade mecânica do material.

No que se refere ao grau de deformação a frio, a Figura 2 abaixo ilustra a sua influência.

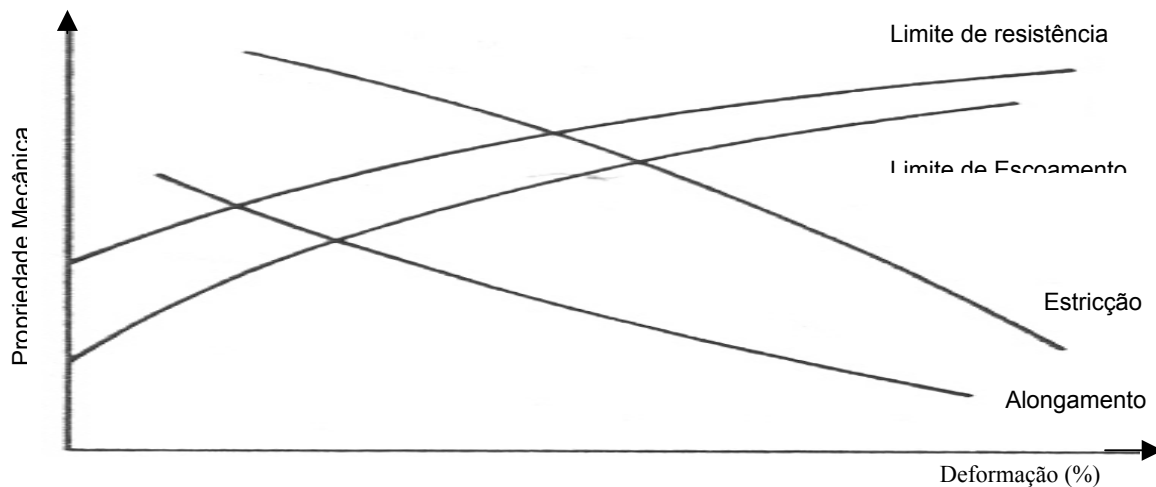


Figura 2. Variação da Propriedade Mecânica x Grau de redução à frio

A energia armazenada pelo cristal deformado pode ser dada nas formas de vacâncias, de maclas e de falhas de empilhamento. A maior parte dessa energia está contida relacionada à geração e interação de discordâncias: o número destas se eleva consideravelmente com a elevação da intensidade de deformação plástica, ou seja, aumenta a densidade de discordâncias no corpo metálico.

A microestrutura se altera com o trabalho a frio: os grãos deformados se tornam alongados e adquirem uma orientação cristalográfica preferencial de acordo com a direção do processo de laminação.

Após a laminação a frio, devemos fazer um tratamento térmico que conduz o metal encruado à condição inicial, ou seja, recuperar suas propriedades mecânicas. Esse tratamento é o recozimento, que consiste no aquecimento do material, a uma determinada temperatura e durante um certo tempo. No processo de alívio da energia interna, pode-se distinguir três estágios: recuperação, recristalização e crescimento dos grãos.

Podemos verificar esses três estágios na Figura 3 abaixo.

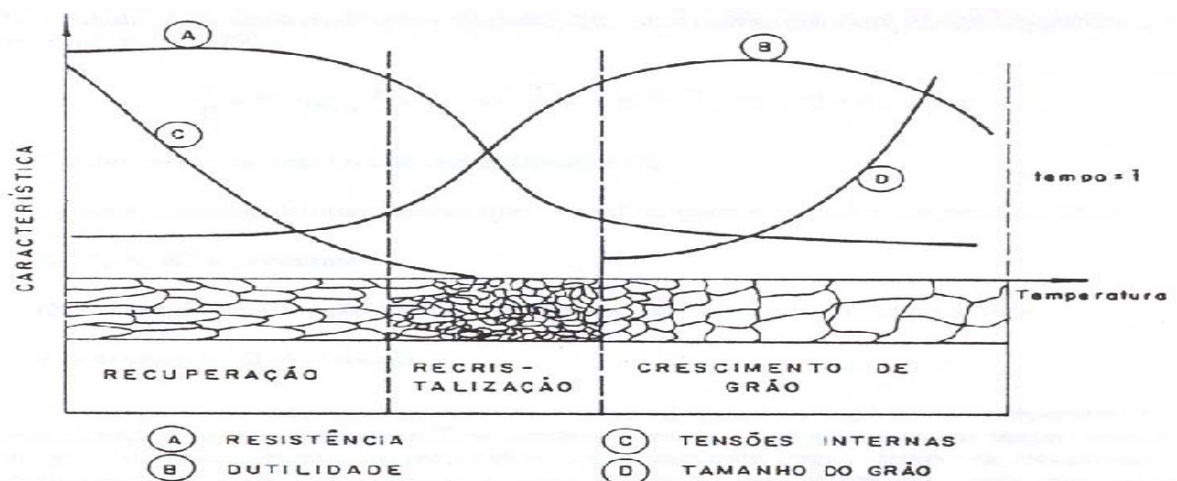


Figura 3. Modificações estruturais e das propriedades mecânicas na recuperação, recristalização e crescimento do grão (curvas ilustrativas das tendências).

A recuperação é o primeiro estágio do processo de recozimento, no qual as propriedades mecânicas modificadas pelo trabalho a frio tendem a retornar a seus

valores iniciais. A energia interna acumulada é reduzida em pequena parte e as tensões mecânicas internas são aliviadas substancialmente. A microestrutura que se apresenta com os grãos deformados de forma alongada – não sofre alteração aparente.

A recristalização é o segundo estágio do processo de recozimento, no qual as propriedades mecânicas e físicas retornam a seus valores iniciais, pois a microestrutura sofre modificações essenciais: são nucleados cristais novos, e isentos de deformação, que gradativamente absorvem os vizinhos deformados. A energia interna acumulada pela deformação plástica é aliviada e a textura encruada, apresentada pelo metal, é eliminada.

O terceiro estágio do recozimento, que segue o estágio da recristalização, é denominado crescimento de grão. Ocorre com a continuação do processo de recozimento e consiste num aumento gradativo do tamanho dos grãos às custas dos grãos vizinhos já recristalizados.

Em face da importância do fenômeno de recristalização, convém analisar a influência de fatores diversos no processo:

- a) Influência da temperatura de acabamento e bobinamento na laminação a quente. A temperatura de bobinamento baixa favorece a formação do nitreto de alumínio (AlN - ajuda na forma do grão) no recozimento em caixa;
- b) Influência do tempo e da temperatura do ciclo de recozimento – Quanto maior a temperatura, menor é o tempo necessário para completar a recristalização;
- c) Influência da grau de encruamento – Para um grau maior de encruamento prévio ao tratamento de recozimento, menores podem ser o tempo e a temperatura de recristalização. A elevação da intensidade de deformação plástica conduz a um aumento da energia de ativação para a recristalização;
- d) Influência da natureza do metal – A presença de pequenos teores de impurezas num metal pode elevar consideravelmente a sua temperatura de recristalização. A influência se dá pela formação de soluções sólidas e pela interação entre os átomos de soluto com os contornos dos grãos – a movimentação dos contornos, que ocorrem com a formação e crescimento dos núcleos de recristalização, é dificultada pela presença desses átomos. O efeito é muito mais pronunciado para baixos teores de elemento soluto do que para teores mais elevados, e a influência é diferente para diversos elementos. Os elementos de liga que entram em solução atuam da mesma forma e os elementos que formam segundas fases, na forma de inclusão ou partículas dispersas, também inibem o crescimento do grão.

No que se refere a influência da composição química, a Figura 4 mostra a ação relativa de diversos elementos de liga quando dissolvidos na ferrita, no sentido de aumentar a sua dureza (e, portanto, a resistência mecânica) antes mesmo de qualquer tratamento térmico. Esse aumento de resistência não é acompanhado por sensível decréscimo de ductilidade, como acontece quando se verifica aumento de dureza ou resistência devido a modificações estruturais.

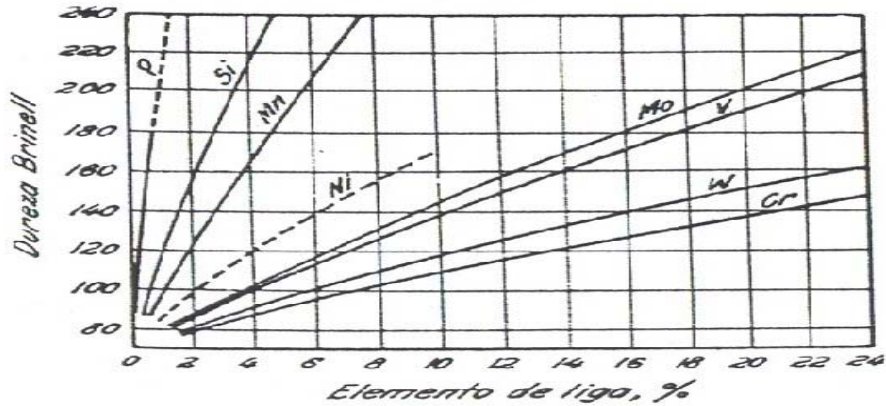


Figura 4. Ação relativa de alguns elementos de liga que se dissolvem na ferrita, no sentido de aumentar sua dureza.

2 OBJETIVO

Otimizar o fluxo produtivo para a produção da especificação NBR 6665 T50, a folha metálica de menor dureza utilizada para produção de embalagens metálicas e componentes com alto grau de conformação, através do ajuste da composição química.

3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O presente trabalho foi desenvolvido para eliminar o problema de desvios internos e reclassificação da especificação NBR 6665 T50.

Os dados de produção da especificação (antes de descarte e retrabalho), são ilustrados na Figura 5:

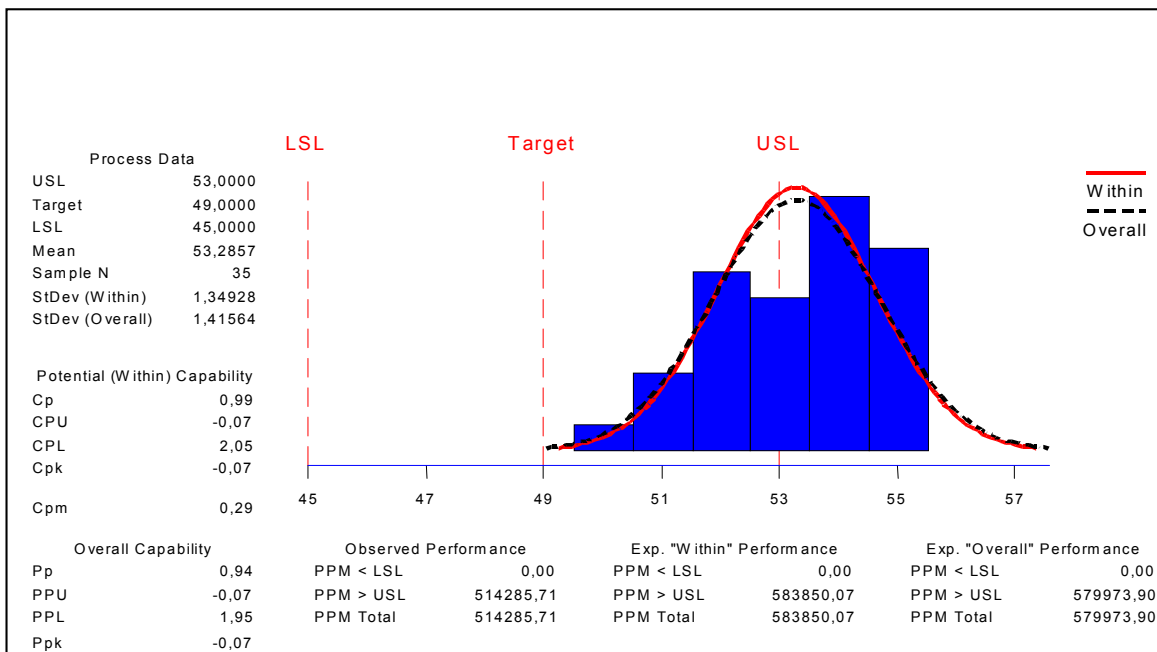


Figura 5. Histograma do material antes do descarte e retrabalho

A microestrutura do material fora do especificado é formada por grãos ferríticos poligonais, associados a regular quantidade de cementita globular fina dispersa na matriz, com tamanho de grão em torno de 11,0 ASTM, conforme a Figura 6 abaixo:

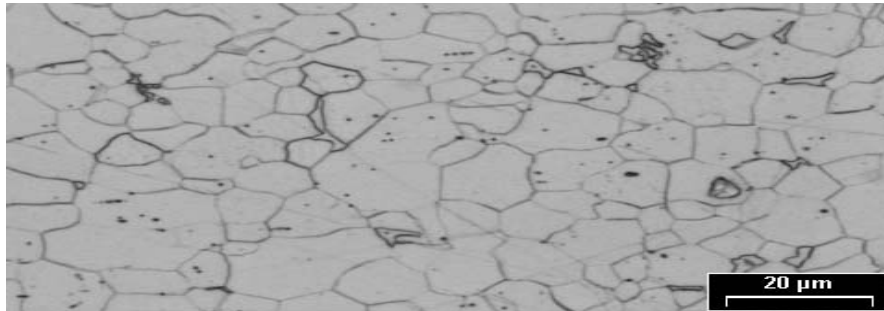


Figura 6. Metalografia do material com desvio de dureza. Ataque Nital 3% e aumento de 500x.

Foi realizado um “brainstorm” a fim de levantar as possíveis causas para a ocorrência do problema de dureza fora do especificado, sendo adotada 3 propostas de solução:

1. Aumento do tempo de recozimento;
2. Alteração do grau de redução a frio e
3. Alteração da composição química.

As duas primeiras hipóteses foram testadas e se mostraram ineficazes.

Foi decidido alterar a composição química do material, sendo levantada as curvas de correlação da dureza x os elementos C e Mn, ilustrados na Figura 7 abaixo:

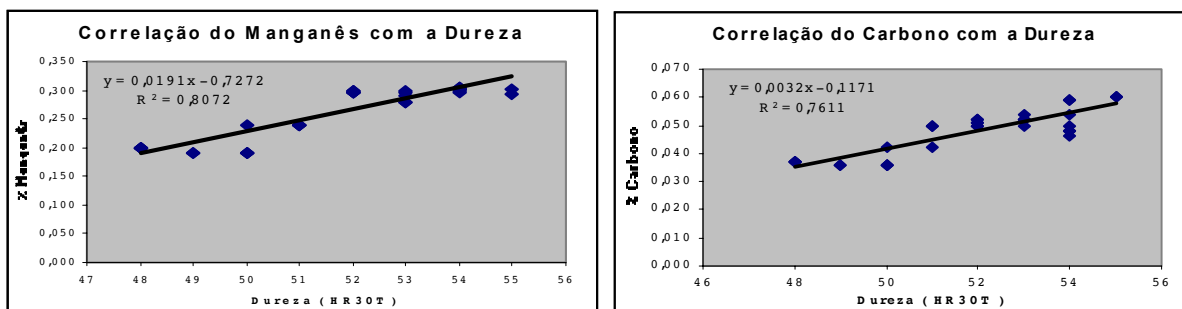


Figura 7. Gráficos de correlação do Manganês x Dureza e Carbono x Dureza.

Os outros elementos não apresentaram uma boa correlação.

Aços de baixo teor de carbono possuem carbono e nitrogênio que decorrem naturalmente do processo de fabricação. A interação de substitucionais com estes intersticiais pode ocasionar alterações das características mecânicas destes aços.

O manganês que não se combinou com o enxofre ou com o oxigênio pode atuar de duas maneiras: quando o teor de carbono é baixo, ele se dissolve na ferrita, aumentando sua dureza e resistência mecânica; com teor de carbono mais elevado, admite-se que se forme o composto Mn_3C que se associaria com o Fe_3C , aumentando ainda mais a dureza e a resistência do aço. Normalmente, o

manganês é especificado em teores que variam de 0,23% a 0,90%, podendo em certos casos (aços de usinagem fácil) apresentar valores mais elevados.

Os materiais não metálicos, contidos no aço, na forma de partículas diversas, como óxidos complexos, sulfetos, nitretos, silicatos, etc, quando finamente divididas, servem para evitar excessivo crescimento do grão.

A tabela a seguir, mostra os efeitos específicos do elemento de liga Mn no aço.

Tabela 1. Efeito do manganês no aço.

Solubilidade sólida	Influência sobre a ferrita	Influência exercida através dos carbonetos		Principais funções
		Tendência formadora de carbonetos	Ação durante o revenido	
No ferro α				
Sem limites	Endurece acentuadamente – Reduz um tanto a plasticidade	Maior que o Fé Menor que o Cr	Muito pequena nos teores normais	1 - Contrabalança a fragilidade devido ao S (elemento desgasificante ou, particularmente, dessulfurante, afim de evitar, respectivamente, a formação de bolhas e de sulfeto de ferro); 2 – Aumenta a endurecibilidade economicamente; 3 – Em solução sólida, aparentemente por causar uma diminuição na mobilidade do nitrogênio, retarda a envelhecimento.

A partir destas observações e de alguns experimentos, alteramos a faixa do manganês de 0,25 a 0,35% para 0,10 a 0,20%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos valores de Manganês e Carbono, foi obtida uma equação de correlação múltipla da dureza x C e Mn, descrita abaixo, e a faixa de Mn do material que foi alterada para 0,10 a 0,20 %:

$$\text{Dureza Teórica (T50)} = 39,49 + \%C \times 122,34 + \%Mn \times 25,14$$

O gráfico a seguir - Figura 8 - mostra a correlação do Valor Previsto x Realizado da dureza (antes e após a mudança da composição química).

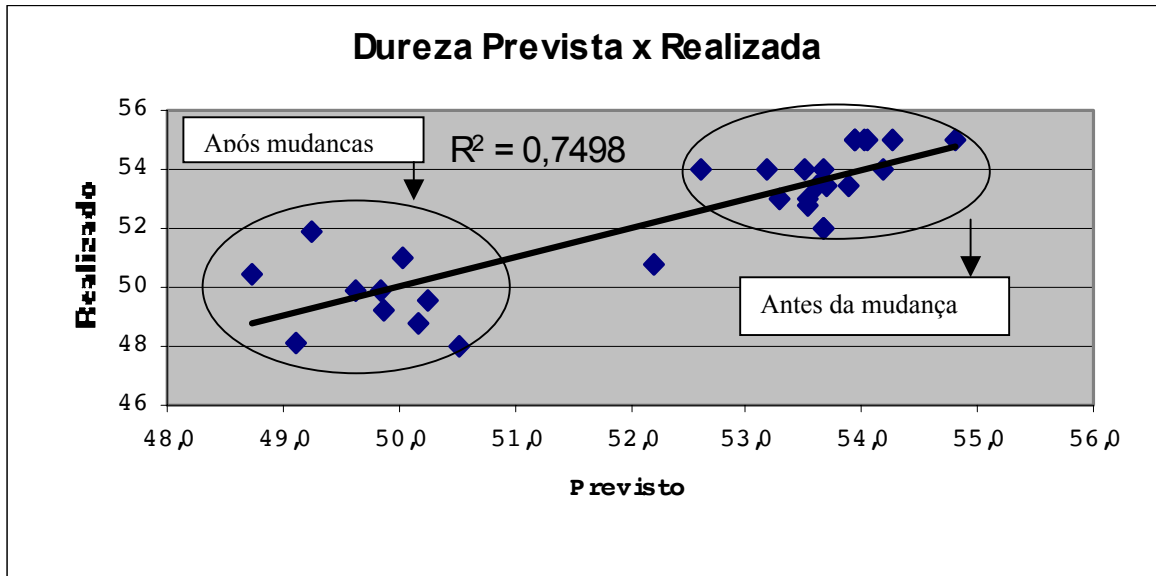


Figura 8. Gráfico de correlação da Dureza Prevista x Realizada.

A Figura 9 mostra como ficou a dispersão e a média da dureza após a alteração da faixa do teor de manganês.

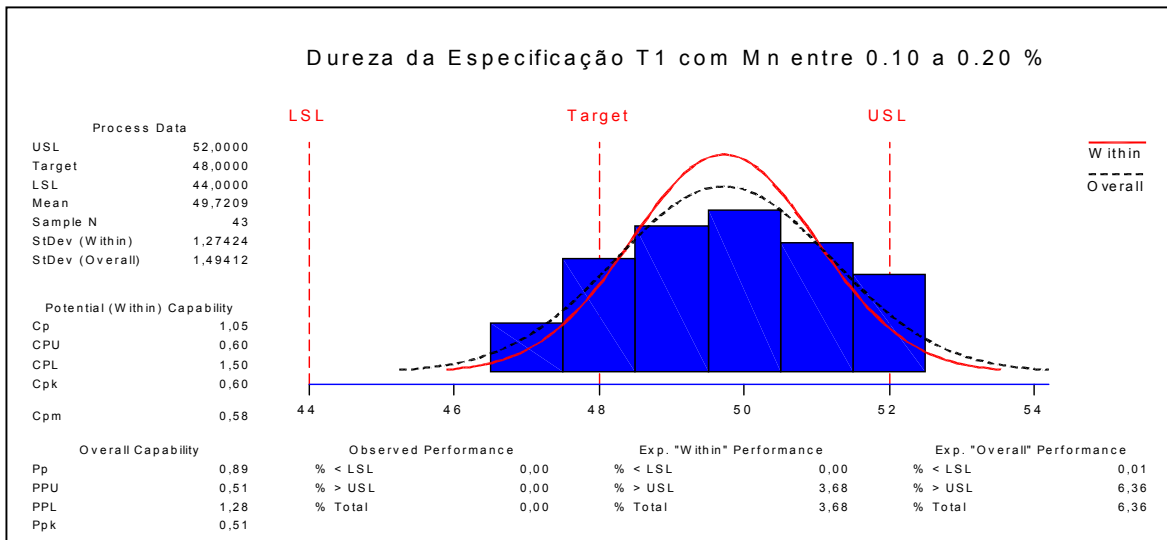


Figura 9. Histograma mostrando a média de dureza após a modificação na faixa do teor de manganês.

Após a alteração a microestrutura do material passou a ser formada por grãos ferríticos alongados com tamanho de grão em torno de 9,0 ASTM. Conforme é mostrada na Figura 10 abaixo.

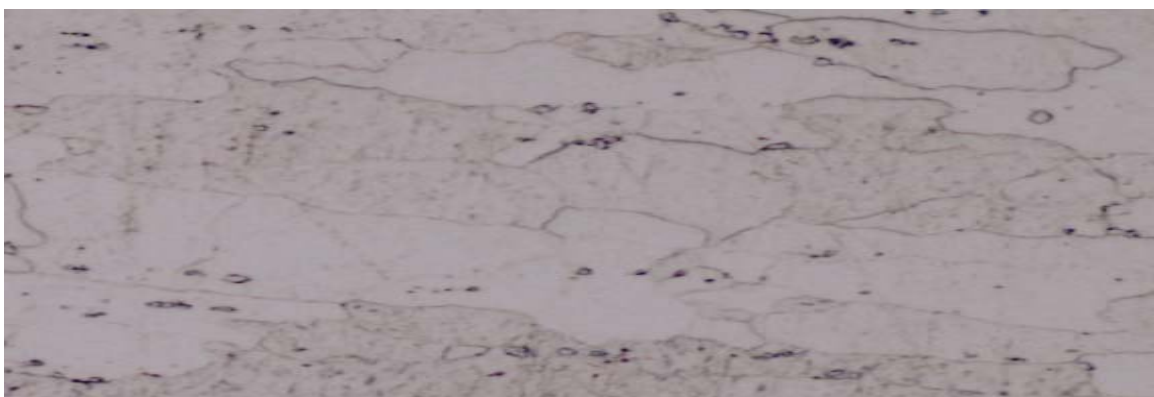


Figura 10. Microestrutura do material com ataque Nital 3% e aumento de 500 x .

Após a mudança da composição química houve uma redução significativa nas ocorrências de dureza fora do especificado pela norma, conforme é mostrado no gráfico da Figura 11.

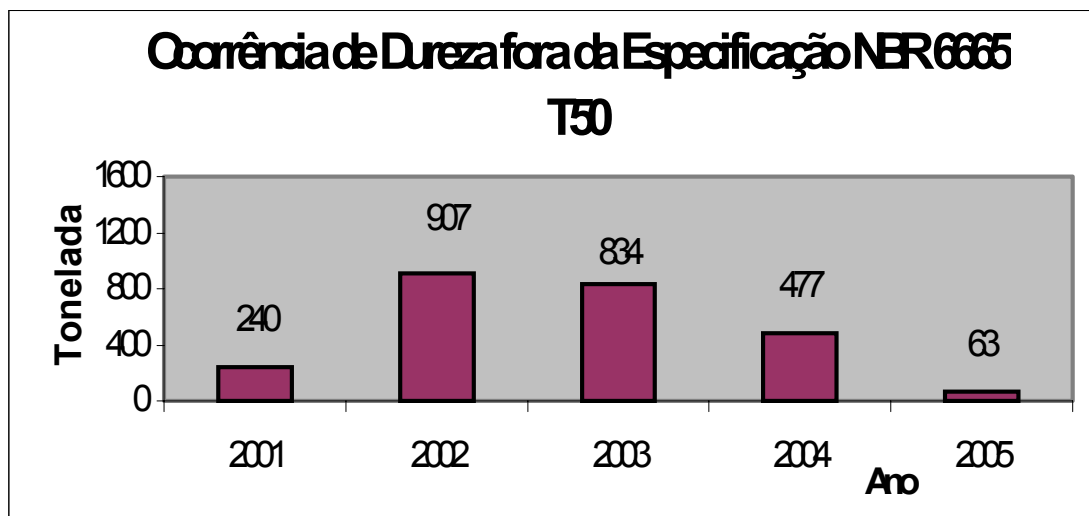


Figura 11. Gráfico mostrando a redução nas ocorrências de dureza fora do especificado pela norma.

5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, pode-se chegar às seguintes conclusões:

1. A redução do teor de Mn foi efetivo tanto na redução da dureza do material como também do número de ocorrências de material fora da especificação;
2. Com a nova faixa de manganês, passou-se a adicionar somente o ferro silício manganês FeSiMn (C = 2,0 %, Si = 14 % e Mn = 65 %) no aço. Com isso, houve uma redução significativa nos custos da adição de manganês em 61% por corrida, visto que os outros dois tipos de ferro manganês utilizados anteriormente (FeMnMC – C = 2,0 % - Mn = 77 % e FeMnST – C = 7,0 % e Mn = 75 %) tem um custo mais elevado.

BIBLIOGRAFIA

- 1 SILVA, André Luiz da Costa & MEI, Paulo Roberto, Aços e Ligas Especiais, Ed. 2ª, São Paulo, 1988, p. 191 – 253.
- 2 CHIAVERINI, Vicente, Aços e Ferros Fundidos, Ed. 6ª, São Paulo, 1988, p. 159 – 187.

CHANGE IN MANUFACTURING PROCESS OF T50 SPECIFICATION, IAGING THE IMPROVEMENT OF MECHANICAL PROPERTIE HARDNESS¹

*Marcos Delane de Souza*²
*Carlos Agenor Onofre Cabral*³
*Eduardo Amorim Motta*⁴
*Marcelo Porto Silva*⁵

Abstract

CSN is the only enterprise in Brazil which produces tinplates and TFS (Tin Free Steel) with a production capacity of one million tons per year. The tinplate are produced as single-reduced (temper mill with 2% elongation) or double-reduced (temper mill with maximum elongation of 34%). The single-reduced materials are specified by NBR 6665 standard, as hardness T50, T52, T55, T57, T61 and T65. This work describes the improvement of the productive flux of the tinplate produced under the NBR 6665 T50 standard, the lower hardness that is produced, used for metallic packaging and for components with a high degree of conformability. It was used a method for identification, determination and removal of the variables that causes mechanical properties hardness out of the range. After regression analysis of several data of hardness versus chemical composition, an excellent regression coefficient (R^2), was obtained, so that we could act in the process re-defining the steel's chemical composition. After acting and standardize the process, the hardness properties returned to the stability condition, removing the occurrence, having an extremely capable process.

Key word: Regression; Hardness; Chemical composition.

- ¹ *42nd Rolling Seminar – Processes, rolled and coated products – 25 to October 28, 2005 – Santos - SP.*
- ² *Development Engineer, GTME-CSN, Metallurgical Engineer.*
- ³ *Special Projects Coordinator, GGDP/GPD-CSN, Chemical Engineer, MSc.*
- ⁴ *Development Engineer, GGFM/GLF-CSN, Metallurgical Engineer.*
- ⁵ *Development Engineer, GTME-CSN, Metallurgical Engineer.*