

CADERNOS DO IME – Série Estatística

Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ
Rio de Janeiro - RJ - Brasil
ISSN 1413-9022 / v. 24, p. 01 - 14, 2008

APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE CEP NUM PROCESSO SIDERÚRGICO

Rafael Zimmermann Stefani
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
rafaelzs@terra.com.br

Christine Tessele Nodari
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
piti@producao.ufrgs.br

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma aplicação prática da utilização de cartas de controle dentro de um projeto Seis Sigma propiciando um melhor entendimento da variabilidade relacionado a dureza da água no molde, um parâmetro crítico do processo que repercute na formação de defeitos em barras laminadas a partir de tarugos lingotados numa aciaria elétrica. No case apresentado, a utilização da ferramenta possibilita a identificação de uma anomalia para remoção imediata.

Palavras-chave: Aciaria; Seis Sigma; CEP; Variabilidade.

1. Introdução

Os contínuos avanços observados nas últimas décadas nas áreas de tecnologia da informação e logística permitiram que fronteiras e distâncias globais fossem reduzidas e que as empresas deixassem de atuar apenas nos mercados próximos. Isto resultou em um grande aumento da competitividade em diversos setores da indústria.

Coutinho e Ferraz apud Noble (2006) entendem que a competitividade é o resultado de fatores que interferem nas atividades empresariais, sejam eles sistêmicos, estruturais ou internos. Os fatores sistêmicos são relacionados a todos os componentes macroeconômicos, político-institucionais, político-regulatórios, entre outros, que podem impactar o desempenho das empresas. Os fatores estruturais correspondem ao conjunto das condições específicas do meio em que a empresa atua, tal como mercado e organização industrial. Por fim, os fatores internos são todos aqueles elementos internos à empresa que a tornam competitiva ou não, tais como gestão industrial e inovação tecnológica.

Neste contexto, pode-se afirmar que o atual cenário do mercado exige contínuos esforços das empresas em desenvolver uma estratégia voltada para os fatores críticos em que elas estão inseridas, sejam eles sistêmicos, estruturais ou internos. O foco da estratégia deve ser produzir cada vez mais com cada vez menos – menos esforço humano, equipamento, tempo e espaço. Ao mesmo tempo, espera-se que as empresas se aproximem cada vez mais de oferecer aos clientes exatamente o que eles desejam.

Assim, diversas ferramentas e metodologias foram propostas nos últimos anos para assegurar a fabricação de produtos isentos de defeitos. Dentre as metodologias propostas, pode-se destacar o Seis Sigma, que teve sua origem na empresa americana Motorola no início dos anos 80. O Seis Sigma está baseado na utilização avançada de ferramentas estatísticas aliadas ao foco no cliente, nos resultados do negócio, utilizando-se de decisões tomadas com base em fatos e dados, de modo a proporcionar um maior entendimento do processo (Ramos, 2002).

Inseridas neste contexto, nesse último período, as indústrias siderúrgicas brasileiras também investiram fortemente em atualização tecnológica de seu parque fabril e no aperfeiçoamento de seus sistemas de gestão, buscando reduzir as perdas existentes no processo produtivo e tornando-se competitivas globalmente.

Em termos de aperfeiçoamento dos sistemas de gestão, podemos citar a primeira grande onda do movimento de qualidade na indústria siderúrgica liderada pelo Prof. Falconi com a implantação do Programa de Controle da Qualidade Total, TQC, no estilo japonês, na década de 80.

O TQC foi um programa de fácil e grande aceitação, principalmente, pela sua simplicidade de abordagem, em diversas empresas siderúrgicas nacionais, tais como: Aços Villares, Companhia Siderúrgica Nacional, Belgo Mineira, Grupo Gerdau e Companhia Siderúrgica de Tubarão (hoje, juntamente com a empresa Vega do Sul, integrantes do Grupo Arcelor Brasil), entre outras. Pode-se dizer que o TQC abriu as portas no Brasil para que outras metodologias viessem a ser testadas nos últimos anos, visando assegurar a fabricação de produtos isentos de defeitos.

Dentre as metodologias propostas, pode-se destacar o Seis Sigma, que teve sua origem na empresa americana Motorola no início dos anos 80. O Seis Sigma está baseado na utilização avançada de ferramentas estatísticas aliadas ao foco no cliente, nos resultados do negócio, utilizando-se de decisões tomadas com base em fatos e dados, de modo a proporcionar um maior entendimento do processo (Ramos, 2002).

O Controle Estatístico de Processo, CEP, é uma das possíveis ferramentas a serem utilizadas dentro da metodologia Seis Sigma. O CEP pode ser definido como um sistema de inspeção por amostragem que tem como objetivo indicar a presença de causas especiais, potencialmente prejudiciais à qualidade dos produtos manufaturados (Ribeiro 2006). Desta maneira, o presente trabalho tem o objetivo de apresentar uma aplicação de cartas de controle como uma ferramenta de apoio a um projeto de melhoria. O projeto desenvolvido utilizou a metodologia Seis Sigma para obter um melhor entendimento das variabilidades relacionadas à dureza total da água no molde, um parâmetro crítico do processo de fabricação de aço que repercute na formação de defeitos em barras laminadas a partir de tarugos lingotados numa aciaria elétrica de uma usina siderúrgica.

O restante deste artigo está assim organizado: inicialmente, apresentam-se conceitos básicos referentes à metodologia Seis Sigma e à utilização da ferramenta de CEP, na seqüência são apresentados os fundamentos básicos da produção de aço numa aciaria elétrica e a identificação da criticidade do parâmetro de processo dureza total da água no molde. Em seguida, apresenta-se a situação do processo com base nos dados

coletados em campo e se discute os resultados obtidos. Ao final do artigo são feitos comentários e apresentam-se as conclusões do estudo realizado.

2. Revisão bibliográfica

A empresa Motorola iniciou a busca de desenvolver produtos com desempenho livre de defeitos, visando aumentar a confiabilidade junto aos clientes (Barney, 2002). Para tanto, foi necessário trabalhar para reduzir as perdas internas em seus processos. Assim, buscou identificar as melhores práticas empregadas nos processos das melhores empresas e implementá-las para melhoria de seus processos e, também, desenvolvendo uma metodologia em que os conceitos de capacidade dos processos, dados pelos índices de C_p e C_{pk} , fossem confrontados com as especificações de produto (expectativa do cliente). Uma vez confrontada a situação atual dos processos e a expectativa do cliente, desenvolveu-se uma metodologia de solução de problemas com utilização de avançadas ferramentas estatísticas buscando a redução da variabilidade dos processos, tornando a variabilidade desta o mais aderente possível com a expectativa dos clientes.

Conforme Ramos (2002), Seis Sigma é uma metodologia estruturada que incrementa a qualidade por meio da melhoria contínua dos processos envolvidos na produção de um bem ou serviço, levando em conta todos os aspectos importantes de um negócio. O objetivo do Seis Sigma é conseguir excelência na competitividade pela melhoria contínua dos processos. É uma filosofia de trabalho para alcançar, maximizar e manter o sucesso comercial, por meio da compreensão das necessidades do cliente (internas e externas).

De acordo com Harry (2000), o conceito sigma foi criado com o objetivo de ser uma métrica universal de qualidade, capaz de mensurar o desempenho dos processos, independente de sua complexidade, que quantifica a variação existente entre os resultados de qualquer processo, sendo utilizada para medir o nível de qualidade, transformando a quantidade de defeitos, não-conformidades, não-atendimento, por milhão em um número na escala sigma. Assim, o índice Seis Sigma passa a medir a capacidade do processo em atender as especificações de projeto, analogamente aos tradicionais índices de C_p e C_{pk} já utilizados pela indústria no Controle Estatístico do Processo.

Os resultados alcançados por tal metodologia na Motorola levou empresas como AlliedSignal, ABB e General Electric a adotar tal metodologia em seus processos, gerando retornos financeiros consideráveis para as empresas. No Brasil, o Grupo Brasmotor introduziu o programa em seu negócio em 1997, registrando em 1999 ganhos da ordem de R\$ 20 milhões com sua aplicação (Werkema, 2002).

No cenário siderúrgico mundial, ainda Werkema (2002) comenta da utilização do Seis Sigma, citando o cenário brasileiro, onde diversas empresas vem adotando a metodologia como forma de melhorar seus desempenhos. Sabe-se a utilização da metodologia na CSN, Grupo Arcelor Brasil, Grupo Votorantim e Grupo Gerdau. Porém, devido a atual competitividade do setor, poucos são ainda os dados publicados sobre a aplicação da metodologia e respectivos ganhos auferidos.

O'Connell (2006) apresenta duas opções para empresas siderúrgicas se manterem competitivas no atual cenário global: a primeira é com pesados investimentos em atualização tecnológica dos principais equipamentos de produção de aço e a segunda é o investimento em times de melhoria dedicados ao mapeamento e análise da variabilidade dos processos, identificando oportunidades de melhoria.

Desde que o Seis Sigma passou a fazer parte da realidade das empresas brasileiras em 1997, diversos estudos a respeito da metodologia já foram realizados. Andrietta (2005) realizou uma pesquisa do tipo survey com mais de 100 empresas nacionais de diversos setores onde era sabido do uso do Seis Sigma. Todas empresas foram questionadas a respeito das ferramentas utilizadas nas etapas do Ciclo DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve e Control*). Dentre os resultados da pesquisa que merecem maior destaque estão a listagem das 10 ferramentas ou métodos mais utilizadas pelas empresas pesquisadas (foram listados mais de 60 ferramentas ou métodos diferentes) e que aplicam o ciclo DMAIC nos projetos de Seis Sigma:

- a) Coleta de Dados;
- b) Histograma;
- c) Diagrama de Pareto;
- d) *Brainstorming*;
- e) Carta de Controle;
- f) Índices de Capacidade;
- g) Fluxograma;
- h) Mapa de Processo;
- i) Avaliação do Sistema de Medição (*MSA*);
- j) CEP.

Na década de 30 por Walter Shewhart, dos laboratórios Bell, foram desenvolvidas as técnicas de controle estatístico de processo (CEP) nos Estados Unidos. Porém só ganharam notoriedade nas empresas através do estatístico norte-americano Edward Deming como parte do esforço para a recuperação do Japão após a segunda guerra mundial (Reis, 2003).

Desta maneira, de ferramenta estatística pouco difundida na década de 30, até ficar famosa no Japão pós-segunda guerra mundial e restante do mundo, o CEP continua sendo uma das mais utilizadas ferramentas estatísticas nas empresas. Para Ribeiro (2006), CEP é um sistema de inspeção por amostragem, operando ao longo do processo, com o objetivo de verificar a presença de causas especiais, ou seja, causas que não são naturais ao processo e que podem prejudicar a qualidade do produto manufaturado. O ponto crítico da ferramenta está na distinção do que é causa comum e causa especial.

Entendendo melhor o conceito do CEP, de acordo com Paese (2000), trata-se de um método que utiliza ferramentas estatísticas, como cartas de controle (CCs) e estudos de capacidade, para monitorar e analisar um processo ou seu resultado, de modo que possam ser adotadas medidas para assegurar a estabilidade e capacidade do processo. A ocorrência de causas especiais pode ser identificada através da utilização de CCs.

As causas comuns são as diversas fontes de variação que atuam de forma aleatória no processo, gerando uma variabilidade inerente do processo. Um processo que apresenta apenas as causas comuns atuando é dito um processo estável ou sob controle, pois apresenta sempre a mesma variabilidade ao longo do tempo. As causas especiais são consideradas falhas de operação, elas não seguem um padrão aleatório, em geral são erros de setup, problemas no equipamento, no lote de matéria prima que pode apresentar características muito diferentes. Elas têm um efeito significativo sobre o desempenho do processo e devem ser identificadas e neutralizadas, pois possuem grande influência no seu desempenho (Ribeiro, 2003).

Segundo Rungtusanatham (1997), CCs são gráficos que apresentam a evolução temporal do comportamento de uma característica de interesse, tendo como dados de entrada as medições de características que influenciam na qualidade dos itens produzidos. A cada medição, compara-se o resultado obtido com limites de controle; a ocorrência de medições fora destes limites ou de padrões não-aleatórios na distribuição dos pontos indica a presença de causas especiais de variabilidade. Uma vez

identificadas as causas especiais, pode-se atuar sobre elas, melhorando continuamente a qualidade do produto.

Falcão e Fogliatto (2004) comentam que CCs, independentemente do tipo, baseiam-se nos mesmos princípios fundamentais de construção e operação. As CCs apresentam uma linha central que representa a média da variável de interesse quando o processo está sob controle (ou livre de causas especiais) e duas outras linhas que representam os limites de controle do processo. Limites de controle são definidos de forma a compreender a maior parte dos valores da variável, estando o processo sob controle.

3. Desenvolvimento

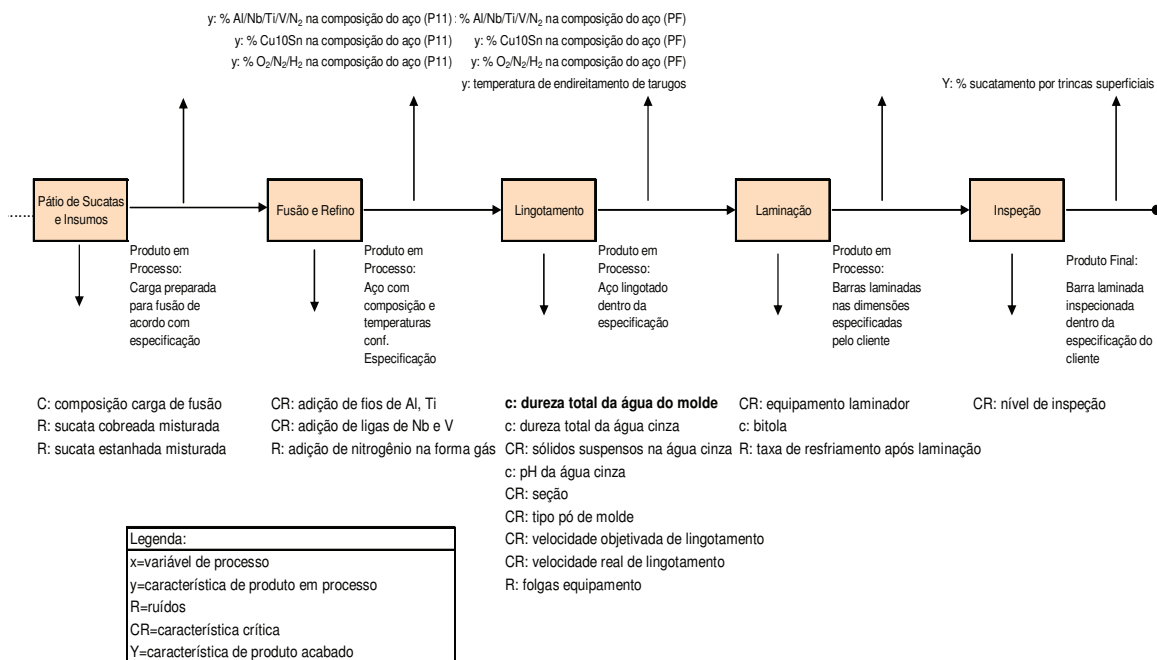
A empresa estudo de caso utiliza a metodologia Seis Sigma desde 2000. A partir desta data desenvolve projetos conforme o método, focados principalmente na redução de perdas ao longo do processo produtivo. Em 2007 um dos projetos desenvolvidos foi o de o sucatamento de barras laminadas devido a presença de defeitos do tipo trincas superficiais com características acima das especificações definidas pelos clientes.

Este trabalho, está focado na etapa *Analyze*, onde é necessário fazer uma análise profunda dos processos envolvidos no problema. Isto implica na utilização de ferramentas de qualidade e estatísticas para aprofundamento das causas-raiz dos problemas, suas relações de causa e efeito no auxílio a solução do problema.

Exemplos de ferramentas utilizadas são os denominados mapas de processo, definidos como um fluxo estruturado do processo que procura descrever os limites do processo estudado, as entradas e saídas, e os principais parâmetros envolvidos (Werkema, 2002). Para este caso específico, é apresentado o mapa do processo resumido com as etapas envolvidas, os seus limites e parâmetros (Figura 1).

De uma forma resumida, o fluxo de uma aciaria elétrica consiste em processar sucata metálica em pequenos pedaços e fundir esta sucata em um forno a arco elétrico, após o aço líquido é transportado para um outro forno, denominado de forno panela, para que sejam adicionadas ligas e seja feita uma purificação do aço líquido. Por fim, o aço líquido é transportado até o lingotamento, onde o aço líquido é solidificado em formato de barras de seção quadrada (tarugos).

Figura 1 - Mapa de processo utilizado no processo de Aciaria.



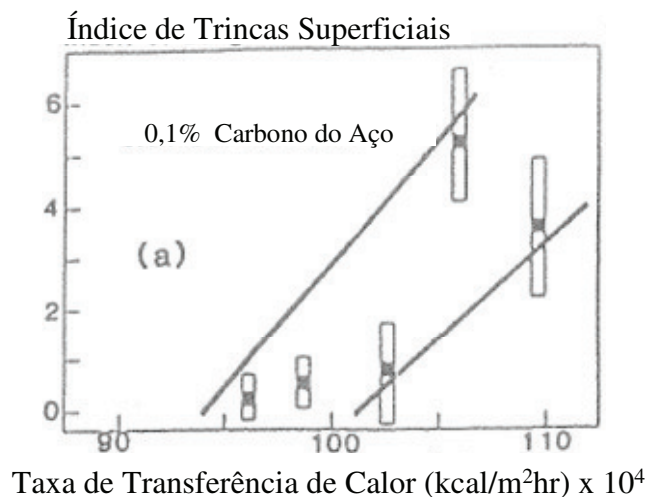
Fonte: próprio autor

A troca térmica entre o aço e o molde contribui de maneira muito expressiva para a formação das trincas nos instantes iniciais da solidificação. Esta troca térmica é influenciada, principalmente por:

- raio de canto do molde;
- formato (*taper*) do molde;
- vazão de água para resfriamento do molde;
- tipo de pó de molde lubrificante utilizado.

Essa troca térmica também varia em função do tipo de aço que se está sendo lingotado, e com relação a isso, vai-se objetivar tirar uma baixa ou alta taxa de extração de calor no molde para se evitar a formação de trincas superficiais nos primeiros estágios da solidificação, ou seja, dentro do molde. (Fernandes, 2005). Na Figura 2 fica evidenciado o aumento do índice de trincas com o aumento da taxa de transferência de calor.

Figura 2: Diferença do índice de trincas superficiais em relação à variação da taxa de transferência de calor.



Fonte: adaptado de Mills (1995) apud Fernandes (2005).

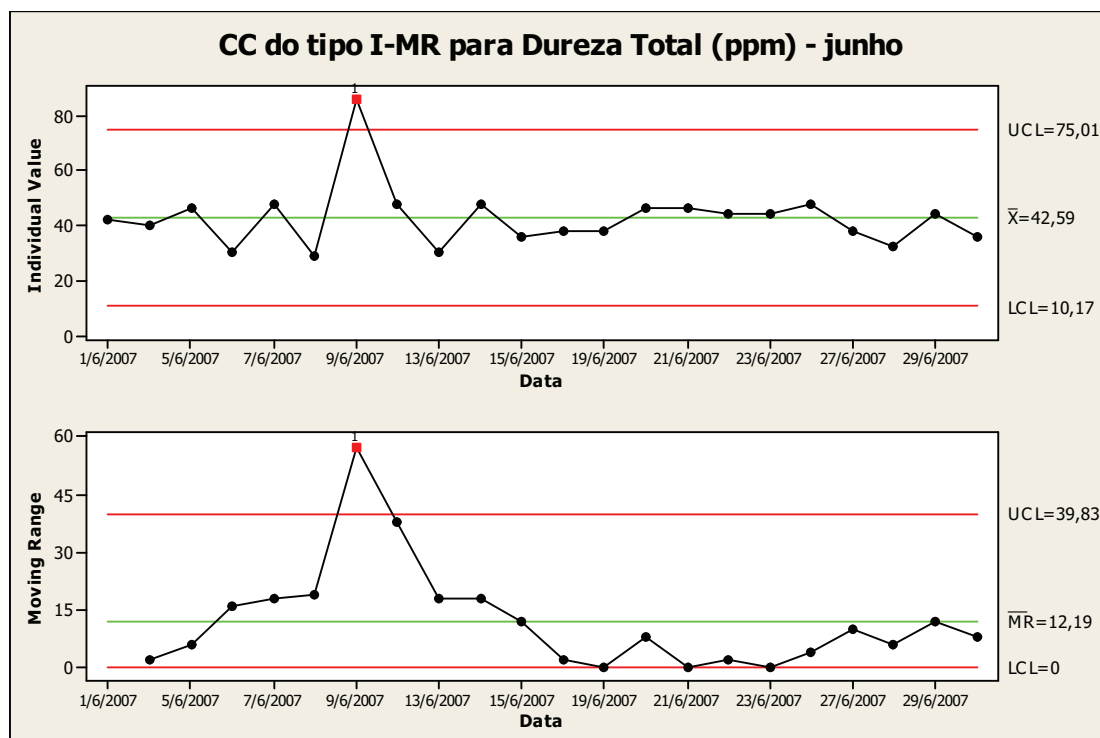
Utilizando o conhecimento dos engenheiros de processo da empresa, identificou-se como crítica a variável de dureza total da água do molde, que representa a concentração de sais/carbonatos existentes na água de circulação interna dos moldes de lingotamento e é responsável pelo resfriamento do molde. A medição desta variável é realizada através de ensaios de laboratório (em ppm), caso essa dureza exceda o valor especificado (máx. 80ppm), existe a possibilidade da formação de camadas de óxidos que se depositam na superfície do molde (trocaador de calor), diminuindo sua eficiência térmica e, conseqüentemente, prejudicando a qualidade do material lingotado nessa etapa.

4. Análise do CEP

A medição desta variável é realizada 1 vez por dia, exceto aos domingos e segundas-feiras, podendo ser analisada através de uma carta de controle do tipo valores individuais-amplitude móvel dentro do mês em questão, tendo como base uma amostragem mínima de 20 registros no mês. Neste caso, foi definido com o laboratório responsável pela análise dos ensaios de que estes seriam plotados em uma CC. Assim, o responsável pelo processo conseguiu analisar a variabilidade ao longo dos meses de

junho e julho de 2007 (Figura 3 e 4). O programa utilizado para a elaboração das cartas de controle foi o Minitab Versão 15.1.1.

Figura 3: Carta de variável (Valor Individual-Amplitude) para dureza total da água do molde no mês de junho de 2007



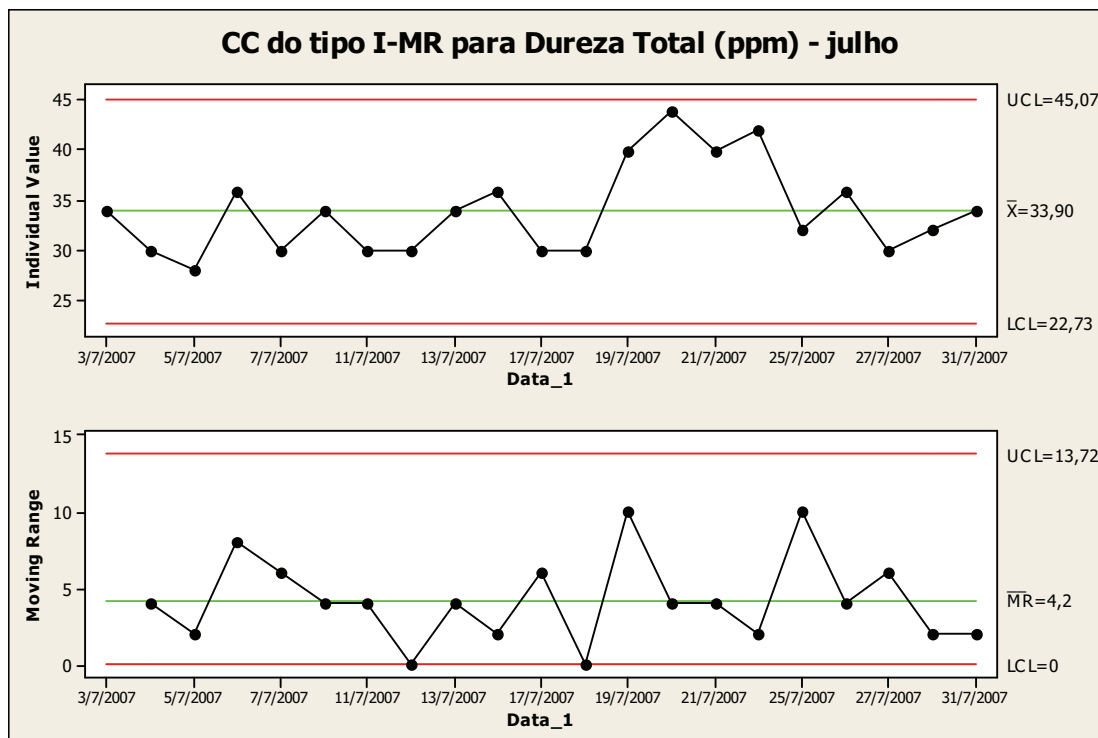
Fonte: próprio autor

A análise permite evidenciar que, no dia 9 de junho de 2007, houve uma ocorrência de valor de dureza fora dos limites de processo, identificando uma causa especial. A análise de variação da amplitude também demonstrou essa ocorrência entre os dias 9 e 10 de junho de 2006. Uma possível contaminação da água de retorno da usina, a qual também abastece outros equipamentos, teve de ser corrigida com agentes químicos, retornando ao normal no dia seguinte.

Quando foi identificada a causa especial no processo, realizou-se uma investigação na área responsável pelo abastecimento desta água, e identificou-se que o *checklist* de limpeza de alguns filtros não estava preenchido no período em que aparece uma causa especial na CC, o que evidenciou um não cumprimento de uma padronização já existente e uma alteração no comportamento natural do processo. Solucionado os problemas identificados, no mês de julho, não houve mais ocorrência de uma causa

especial. O processo trabalhou dentro dos limites de processo com estabilidade, caracterizando um controle estatístico.

Figura 4: Carta de variável (Valor Individual-Amplitude) para dureza total da água do molde no mês de julho de 2007.



Fonte: próprio autor

Desta maneira, a utilização da CC levou a equipe de engenharia a verificar um descumprimento da padronização existente. Isto possibilitou que todo o processo de padronização da área envolvida fosse revisado, questionando com toda a equipe a facilidade de execução do que estava padronizado, os efeitos colaterais que poderiam ocorrer com algum não cumprimento e principalmente, o re-treinando todos os operadores nos padrões críticos para a execução das atividades.

5. Comentários Finais

A utilização de CCs neste trabalho teve como principal foco monitorar o desempenho de um parâmetro de processo considerado como crítico para uma característica de qualidade percebida pelos clientes e que estava impactando em um alto índice de sucata, motivo pelo qual a empresa objeto de estudo desenvolveu um projeto de Seis Sigma. Com o estudo realizado, identificou-se que houve uma alteração

no processo em um determinado momento. A análise da carta de controle permitiu identificar este momento e tomar ações para que o problema não voltasse a ocorrer.

Durante o desenvolvimento do projeto de Seis Sigma, identificou-se a necessidade de implantar uma CC permanente no laboratório responsável pelo ensaio, de modo que fique padronizada a utilização do CEP neste processo e posteriores causas especiais que possam vir a aparecer sejam tratadas diretamente pelo responsável da área.

Finalmente verifica-se que o Seis Sigma é uma metodologia que, através de utilização de avançadas ferramentas estatísticas, permite reduzir a variabilidade presente nos processos, identificando os parâmetros críticos e possibilitando um melhor entendimento de comportamentos e necessidades.

Referências

- ANDRIETTA, J. M.; MIGUEL, P. A. C.; MAESTRELLI, N. C. Técnicas e Ferramentas Utilizadas em Empresas que Aplicam o Programa Seis Sigma no Brasil: Resultados de uma Survey. **Anais... XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP 2005**, Porto Alegre/Brasil, p. 1420-1427.
- BARNEY, M. Motorola's Second Generation. **Six Sigma Forum Magazine**, Feb. 2002, Vol. 1, N°2, p. 13-16.
- FALCÃO, A.S.G; FOGLIATTO, F.S. Proposta de Limites de Controle para Monitoramento da Qualidade do Concreto, **Produto & Produção**, vol 7, n. 2, p. 53-64, jun. 2004
- FERNANDES, P.C. **Otimização dos Parâmetros de Lingotamento Contínuo para Minimizar a Ocorrência de Trincas Superficiais no Aço DIN-20MnCr5 Modificado**. Dissertação para Obtenção do Título de Mestre em Engenharia UFRGS. Porto Alegre, 2004
- HARRY, M. J. **Six Sigma: a breakthrough strategy for profitability**. Quality Progress, p. 60-64, May 1998.
- NOBLE, R.G.; SOUZA, M.A.; ALMEIDA, L.B. Investimentos de Capital, Custo Tributário e Competitividade: um caso do setor siderúrgico brasileiro, maio 2006. **Revista Universo Contábil**, Blumenau, v. 2, n. 2, p. 24-36.
- O'CONNELL, C.; VRZAL, J.; **Six sigma in the steel industry**, **Iron and Steel Technology**, june 2006.
- RAMOS, A.W.; RIBEIRO, C.O., MIYAKE, D.I. **Seis Sigma, Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços**. Ed. Atlas, 2002
- REIS, D.A.F.; (2003) **Seis Sigma: Um estudo aplicado ao setor eletrônico**, Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, UFRGS.
- RIBEIRO, J.L.D.; CATEN, C.T. (2003) **Série Monográfica Qualidade Estatística Industrial**. UFRGS, Especialização em Engenharia de Produção.

RIBEIRO, J.L.D.; CATEN, C.T. (2006) **Apostila de Controle Estatístico de Processos**. UFRGS, Apostila de Curso. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

RUNGTUSANATHAM, M.; ANDRESON, J.C.; DOOLEY, K.J.; Conceptualizing Organizational Implementation and Practice of Statistical Process Control, 1997, **Journal of Quality Management**, Vol. 2, Nº 1, pp. 113-137

PAESE, C. (2000), **Estudo de uma Metodologia para Estabilização de Processos**, Tese de Doutorado, UFRGS,

WERKEMA, M. C. C. **Criando a Cultura Seis Sigma**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

APPLICATION OF STATISTICAL CONTROL PROCESS (SPC) IN A STEEL INDUSTRY

Abstract

The objective of this document is to present a practical application of the utilization of Control Charts in a Six Sigma Project, giving a better understanding of variability related to the water in the mold hardness, a critic parameter on the process that can be related to superficial defects on rolled bars maded by billets of an Eletric Melt Shop. This case shows the utilization of the tool for identify a special cause for imediate remotion.

Key-words: *Melt Shop; Six Sigma; SPC; Variability.*