

Investigação sobre o Controle Estatístico de Processos em uma Siderúrgica.

Bráulio Moreira Pinto Coelho <brauliorabbit@yahoo.com.br>

Rodrigo Eduardo Mendes <rodrigoemendes@gmail.com>

William Bossas Paulino <willbossas@yahoo.com.br>

Ricardo Coser Mergulhão <mergulhao@ufscar.br>

Resumo: Este artigo apresenta uma investigação empírica sobre o uso do Controle Estatístico de Processos (CEP) em uma siderúrgica. O método de pesquisa utilizado é o do estudo de caso. O estudo realizado apontou para alguns aspectos sobre o uso do CEP que, quando levados em consideração, podem auxiliar no uso efetivo do controle estatístico de processos na melhoria da qualidade. Entre eles estão a criação de comitês que direcionem o uso do CEP; a existência de indicadores de desempenho que relacionem os resultados às suas causas; a existência de normas ou programas que auxiliem no uso do CEP; e a existência de uma estrutura de Tecnologia de Informação (TI) que facilite a coleta e a análise dos dados.

Palavras-chave: Controle Estatístico de Processos; Processos Contínuos; Melhoria da Qualidade.

Investigation on the Statistical Process Control in a Steel Plant

Abstract: This article presents an empiric investigation about the Statistical Process Control (SPC) use in a company that produces steel in a continuous process. The research method is the case study. The study showed that exists some aspects on the use of SPC that can aid the effective use of the Statistical Process Control to quality improvement. These aspects are the creation of committees to leading the SPC use; the existence of norms or programs that support the SPC use; and an Information Technology (IT) that facilitates the data collection and data analysis.

Keywords: Statistical Process Control; Continuous Process; Quality improvement.

1. Introdução

Impulsionado principalmente pelo grande crescimento econômico da China, o setor siderúrgico aparece atualmente com destaque no mercado internacional. A disparada da demanda liderada pela China, responsável pelo consumo de mais de um quarto da produção mundial, tirou esse setor da estagnação no fim de 2003. Em meio a esse cenário, a indústria siderúrgica brasileira tem buscado níveis recordes de produção e exportação de aço. Para isto, as companhias brasileiras contam com elevados investimentos para expandir suas plantas e melhorar seus sistemas de gestão, aumentando sua capacidade de produção e melhorando a qualidade seus produtos (VALOR ECONÔMICO, 2007)

Nesse cenário, uma forma de aumentar a capacidade produtiva e a qualidade dos

produtos é a melhoria de processos. Esse tipo de melhoria pode ser alcançado de forma efetiva mediante a utilização de métodos estatísticos e ferramentas da qualidade. Tais métodos e ferramentas permitem que os dados gerados pelo processo possam ser interpretados, analisados e as conclusões tiradas (RAMOS, 2000).

Existem diversas abordagens para se alcançar a melhoria de processos. O Controle Estatístico de Processos (CEP) é uma delas e procura reduzir a variabilidade dos processos, propiciando melhores resultados como o aumento da qualidade e a redução de custos de produção (CARVALHO et al., 2005).

Diversos fatores permeiam a implantação e utilização do CEP. Segundo Ramos (2000), o tipo de empresa e de processo produtivo são exemplos desses fatores. Nesse sentido, o objetivo do presente artigo é o de investigar, por meio de um estudo de caso, a aplicação do CEP em uma empresa de processos contínuos do setor siderúrgico.

2. Controle Estatístico de Processos

A qualidade de um produto pode ser vista por diferentes dimensões. A proposta de Garvin (1992) sugere oito dimensões para a qualidade do produto: desempenho, confiabilidade, durabilidade, assistência técnica, características, estética, qualidade percebida e conformidade com as especificações.

Outro aspecto sobre a qualidade que pode ser estendido a todas as dimensões apresentadas por Garvin (1992) é que ela, segundo Montgomery (2001), é inversamente proporcional à variabilidade. Ramos (2000) destaca que em todo processo existe certa variação decorrente de inúmeros fatores e que para essas variações não acarretarem prejuízos futuros é necessário controle ou fiscalização sobre as mesmas. Considerando-se que um processo possui entradas as quais são transformadas em saídas, Ramos (2000) ressalta que para se agir de forma a controlar essas variações é necessário que as entradas (inputs) e não apenas as saídas (outputs) do processo sejam controladas. Isso significa que é preciso agir sobre os fatores de produção e não apenas sobre os produtos acabados.

O processo de análise dessas entradas (inputs) e saídas (outputs) necessita de dados. Esses, segundo CAMPOS (1992), podem ser caracterizados como itens de controle ou itens de verificação. Os itens de controle são dados mensuráveis da qualidade do produto, relacionados com a saída de uma etapa ou de todo o processo. Já os itens de verificação são as causas que afetam um determinado item de controle.

Para se definir os itens de controle de um processo, a abordagem do QFD (*Quality Function Deployment* ou, em português, Desdobramento da Função Qualidade) é útil, pois estabelece relações entre as necessidades dos clientes e os requisitos de projeto, identificando as características que mais contribuem para os atributos de qualidade (CARVALHO et al., 2005).

O Controle Estatístico de Processos (CEP) é uma abordagem muito utilizada no controle e melhoria dos processos. Segundo Montgomery (2001), ele promove, entre outros benefícios, aumento da produtividade; prevenção de defeitos; e evita o ajuste desnecessário dos processos.

Um processo está submetido a variações, que são oriundas de dois tipos de causas: as comuns e as especiais. As causas comuns (aleatórias) são aquelas que pertencem naturalmente ao processo e afetam todos os seus fatores. Elas possuem origens e valores individuais que diferem entre si, mas se combinadas formam certo padrão, seguindo uma distribuição de probabilidade. Não podem ser removidas sem que haja uma mudança sistêmica e, muitas

vezes custosa, no processo. Já as causas especiais (atribuíveis) possuem um comportamento totalmente imprevisível, com resultados discrepantes se comparadas às causas comuns e para que sua remoção seja feita não é preciso uma mudança sistêmica do processo, exigindo menores investimentos (RAMOS, 2000).

Com isso, o CEP consiste no controle das causas comuns de variação e na eliminação das causas especiais de variação de forma a manter o processo dentro de limites de variação considerados aceitáveis. Esse controle é feito por meio dos gráficos de controle.

Um gráfico de controle comum apresenta uma linha central (LC), que corresponde ao valor médio da característica da qualidade que está sendo avaliada; limite superior de controle (LSC) e limite inferior de controle (LIC). Para que um processo seja considerado sob controle estatístico é necessário que os pontos representativos das amostras estejam dentro dos limites de controle e sejam distribuídos de forma aleatória, sem representar qualquer tipo de tendência. Com isso, caso algum ponto esteja fora dos limites ou o conjunto desses pontos não se comporte de forma aleatória em relação à linha central, o processo é considerado fora de controle estatístico e a causa que gerou tal perturbação precisa ser encontrada e eliminá-la por meio de ferramentas e métodos de controle e melhoria da qualidade.

De forma simplificada, os limites de controle, superior e inferior, são múltiplos do desvio-padrão, que geralmente é 3 (MONTGOMERY, 2001). A Figura 1 ilustra um exemplo de gráfico de controle.

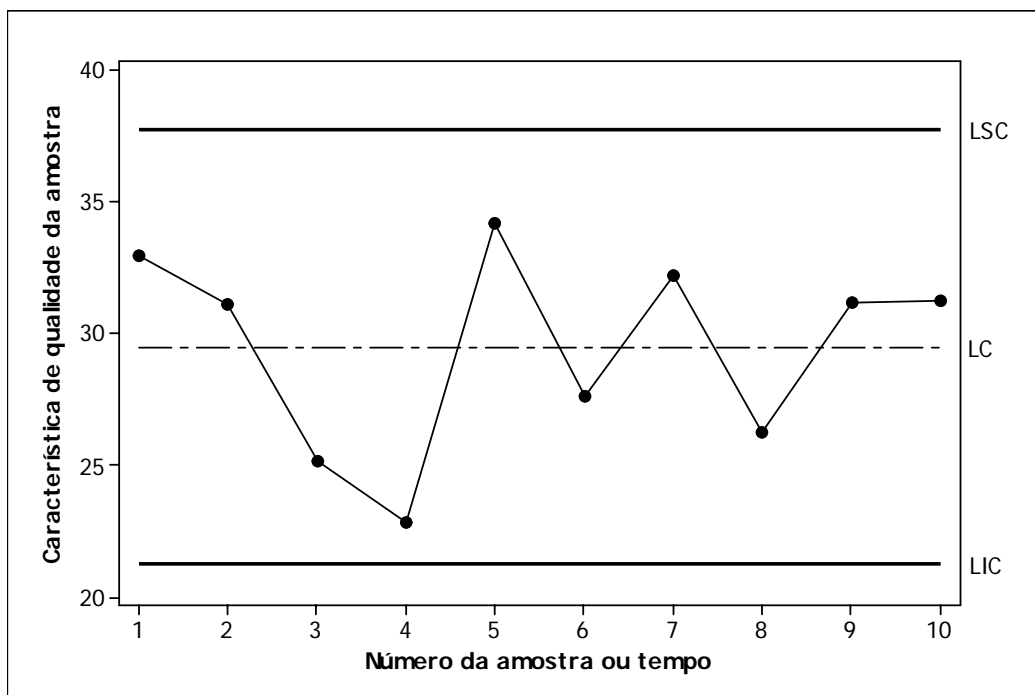


FIGURA 1 – Exemplo de gráfico de controle. Fonte: Montgomery (2001).

Os gráficos de controle podem ser categorizados de acordo com a característica da qualidade que está sendo avaliada: atributos ou variáveis. Segundo Ramos (2000), os gráficos de controle para atributos são mais fáceis de serem utilizados e os mais comumente utilizados são:

- Gráfico np: quando se tem o número de defeituosos ou não-conformes em um processo para uma amostra de tamanho constante, tendo como base uma Distribuição Binomial;

- Gráfico p: usado para avaliar a fração defeituosa ou fração de não-conformes de um processo para uma amostra de tamanho constante ou não, tendo como base uma Distribuição Binomial;
- Gráfico c: para número de defeitos ou não-conformidades em uma amostra de tamanho constante, tendo como base a Distribuição de Poisson; e
- Gráfico u: número de defeitos ou não-conformidades em uma amostra de tamanho constante ou não, tendo como base a Distribuição de Poisson.

Ainda, segundo Ramos (2000), os gráficos de controle para variáveis possuem mais informação do que os gráficos para atributos, embora sejam mais demorados para uma análise detalhada. Entre eles os mais comumente utilizados são:

- Gráfico X-barra (média aritmética): utilizado para controlar a média de certa característica da qualidade, de modo que para cada amostra de tamanho constante é calculada uma média aritmética a ser plotada no gráfico;
- Gráfico S (desvio-padrão): utilizado para controlar o desvio-padrão dentro de cada amostra;
- Gráfico R (amplitude): utilizado para controlar a amplitude dos valores dentro da amostra; e
- Gráfico X (indivíduos): usado quando os dados são obtidos durante um longo intervalo de tempo sendo necessários controlar os valores individuais da variável de interesse.

Ramos (2000) destaca que esses gráficos, que são considerados gráficos de controle convencionais, costumam gerar problemas em circunstâncias específicas. Entre eles cita-se que a maioria deles emprega amostras com base em médias para o controle de processo, diferentemente do tamanho das amostras utilizadas em empresas de processo contínuo que costumam utilizar apenas um tipo de amostra para análise. Outro fato que limita o uso desses gráficos de controle é o uso de fluxos múltiplos de materiais, tornando necessário o uso de vários gráficos de controle. Ainda segundo Ramos, um gráfico que pode ser utilizado para que esses problemas sejam minimizados é uma mistura do gráfico x-barra e R com \bar{x} e R_m , em que R_m representa a amplitude móvel.

Destaca-se que paralelamente ao uso dos gráficos de controle pode ser feita uma análise da capacidade do processo, que diz respeito à aptidão do processo em atender às especificações do projeto. Cabe ressaltar que as especificações sobre característica da qualidade são determinadas externamente ao processo por exigências técnicas (projetistas, engenheiros etc.) ou dos clientes. Dessa forma, não existe qualquer relação estatística entre limites de especificação e limites de controle (MONTGOMERY, 2001).

De acordo com Montgomery (2001) algumas ferramentas da qualidade podem ser usadas em conjunto com os gráficos de controle para que as causas especiais sejam eliminadas. Entre elas destacam-se: histograma; folha de verificação; diagrama de Pareto; diagrama de causa-e-efeito; diagrama de dispersão; e fluxograma.

Enfim, convém destacar que a melhoria contínua, base que sustenta a melhoria de processos, é bem mais ampla que apenas a aplicação de métodos e ferramentas. Por isso, ela precisa ser vista como um processo que depende de uma filosofia gerencial, que oriente e planeje as ações a serem tomadas para executar as mudanças necessárias. Desta maneira, um

gerente não precisa ser um especialista em métodos estatísticos, mas precisa entender sua finalidade e incentivar seu uso (RAMOS, 2000).

3. Pesquisa de Campo

A pesquisa de campo utilizou como direcionador o método de pesquisa do estudo de caso. Isso porque, segundo Yin (1994) a pesquisa é predominantemente qualitativa e não objetiva promover intervenções no objeto do estudo, procurando na perspectiva dos indivíduos esclarecer aspectos associados ao uso do CEP na empresa em questão.

A coleta de dados foi feita por meio de entrevistas semi-estruturadas, observações e análise de documentos, sendo que todos estes são instrumentos de pesquisas adequados para a coleta de dados de caráter qualitativo que estão na perspectiva dos indivíduos e no contexto das empresas (YIN, 1994).

A empresa investigada é uma siderúrgica que atua no mercado de aços longos, também conhecido como *steel cord* (fio máquina), tendo seus principais clientes inseridos nos mercados nacional e internacional. Ela está instalada na região do Vale do Aço em Minas Gerais e possui as certificações ISO 9001, ISO 14001 e OSHAS 18001.

O Processo de Produção da Empresa

A produção completa do aço é executada pela empresa, desde a extração do minério, passando pela sinterização, produção de ferro gusa em alto-forno, fazendo o refino do aço e sua laminação. A empresa produz aços de baixo e alto teor de carbono para diversas aplicações, destacando-se o insumo para a lâ de aço e o fio-máquina, este usado para reforço de pneus radiais. Cada quantidade de aço produzida é denominada como corrida de aço, ou somente corrida. Na Figura 2 está representado o processo de produção do aço. Destaca-se que o escopo da pesquisa abordará apenas os setores de Aciaria e a Laminação.

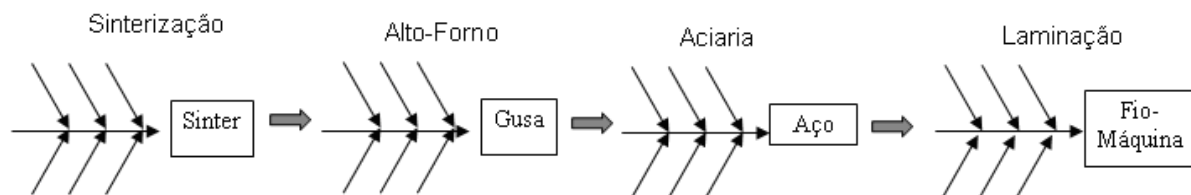


FIGURA 2 – Processo de Produção de Aço

A Aciaria é composta por três processos principais: o Convertedor (CV), o Forno Panela (FP) e a Máquina de Lingotamento Contínuo (MLC). Os nomes desses processos correspondem aos principais equipamentos de cada setor.

No CV ocorre a mistura do ferro gusa líquido, sucata, fundentes e ferros-liga, que determinam a composição química dos aços. No CV ocorre o primeiro refino do aço. O FP é o elo entre o CV e a MLC, ainda no FP ocorrem os ajustes finais de temperatura e composição química, que caracteriza o refino secundário do aço. Após esse refino, o aço é levado para a MLC, onde assume de tarugo (barra de aço), após ser moldado pelas chamadas lingoteiras.

A Laminação é o processo de conformação mecânica que consiste em reduzir a espessura da seção transversal do tarugo e, para o caso analisado, procura atribuir uma forma com seção circular. O processo de laminação da empresa começa com o aquecimento do tarugo, que é realizado em um forno de reaquecimento. Em seguida, os tarugos são laminados à quente em um trem contínuo de laminação até a obtenção do diâmetro desejado, para então ser submetida ao processo de formação das bobinas de fio-máquina.

O Controle Estatístico de Processo na Empresa

Diante do contexto apresentado, a utilização do Controle Estatístico de Processo (CEP) na empresa surgiu de uma demanda advinda do programa Seis Sigma iniciado em 2001. Este é um programa de melhoria da qualidade que busca a redução da variabilidade dos processos e, com isso, o uso do CEP para garantia dos resultados alcançados com os projetos de melhoria mostrou-se bem coerente com o objetivo do programa. O uso do CEP na empresa também procurou fornecer suporte ao atendimento de alguns requisitos da ISO 9001.

Os responsáveis pela implementação e acompanhamento do CEP são membros do *Staff* técnico da empresa, que é composto por engenheiros de processo e técnicos ligados a área de metalurgia e garantia da qualidade.

Outra característica sobre a implantação do CEP na empresa em estudo foi que, devido à grande variedade de aços produzidos pela mesma, apenas optou-se por implementá-lo para controlar alguns processos responsáveis por alguns produtos. Os produtos escolhidos foram os aços de alto teor de carbono (ATC), pois são os que possuem maior valor agregado.

A abordagem do QFD foi utilizada para identificação dos itens de controle do laminador e da Aciaria. Na Aciaria, os itens de controle se referem, quase que em sua totalidade, à composição química dos aços, que é expressa em termos de porcentagem de determinados elementos na mistura do aço, tais como: carbono, enxofre e fósforo. No caso do aço, esses elementos estão associados a propriedades, tais como: ductibilidade, resistência à tração, condutibilidade térmica e condutibilidade elétrica. Os dados associados a esse tipo de característica da qualidade são do tipo variável, pois resultam de uma mensuração expressa por valor numérico em uma escala contínua. Os itens de verificação monitorados nesse processo foram o tempo de aquecimento do CV, o tempo de enformamento do aço no CV e quantidade de insumos adicionados.

O engenheiro de processo de cada área de produção é responsável pelo estabelecimento dos itens de controle e pela revisão anual dos itens de controle e de verificação, além do estabelecimento e manutenção de um procedimento documentado que define os limites de especificação, segundo o cliente, e os limites de controle advindos das análises dos processos.

Na Laminação, os itens de controle são a porcentagem de carbono, índices de defeitos superficiais, limite de resistência e outros, que dependem de uma análise metalográfica. O responsável pelo acompanhamento desses itens é o departamento associado à Laminação. Os itens de verificação associados aos itens de controle apresentados são de responsabilidade do *Staff* técnico, entre eles tem-se: temperatura das zonas do forno de aquecimento, nível de oxigênio dentro do forno de aquecimento, tempo que cada tarugo permanece no forno e a tonelagem de canal, que diz respeito à quantidade de toneladas laminadas nos canais das cadeiras do laminador.

Outro destaque notado na empresa quanto à coleta de dados é que ela é distinta entre os processos. Isso se deve à adaptação quanto a fatores relacionados à natureza do processo produtivo de cada produto. Por exemplo, os dados da Aciaria são decorrentes de uma única amostra de aço em cada corrida/batelada, caracterizando uma amostra individual. Enquanto que na Laminação, a amostragem segue parâmetros estabelecidos pela literatura da empresa, englobando amostras de rolos e espiras para cada item.

A análise de dados para os itens de controle é realizada mediante gráficos de controle e do cálculo da capacidade dos processos. Para os itens de verificação são plotados apenas gráficos de acompanhamento. Quando o processo sai fora de controle estatístico, são feitas análises mais aprofundadas por meio de inspeção dos produtos (ou lotes) fabricados após a verificação da anormalidade para garantir que o produto a ser entregue aos clientes atenda às especificações contratadas.

Com isso, aqueles produtos/corridas fora dos limites de especificação, para uma característica da qualidade considerada importante, não são enviados ao cliente. Neste caso, a corrida é reclassificada para outro cliente ou aplicação, em que a qualidade resultante seja aceitável. Em ambos os casos é feita uma análise de anomalia para descobrir a causa fundamental do problema.

Nos casos apresentados, o gráfico de controle usado para análise dos itens de controle é do tipo I-MR (*Individual - Moving Range* ou, em português, Indivíduo – Média Móvel). Essa análise é feita com auxílio de um software estatístico que desenha os gráficos de controle.

A análise de anomalia citada anteriormente é uma técnica muito utilizada pela empresa, a qual é realizada a partir da formação de uma equipe específica para estudo e busca de uma solução para o problema indicado na análise dos gráficos de controle. Durante a análise de anomalia são utilizadas outras ferramentas e técnicas do CEP, tais como: diagrama de causa-e-efeito, diagrama de Pareto, entre outras.

Cabe ressaltar que qualquer alteração que envolver as características da qualidade ou os parâmetros de controle dos produtos e processos, antes de ser incorporada, passa por um processo de aprovação em uma banca formada por membros de diversas áreas. Existe um acompanhamento diário dos itens de controle pelos engenheiros de processo. A coleta e análise dos dados são facilitadas pela tecnologia de informação disponível na empresa. Com isso, as medidas corretivas podem ser executadas de forma rápida.

4. Considerações Finais

Este estudo de caso contribuiu ao fornecer maior compreensão do uso do Controle Estatístico de Processos (CEP) em uma empresa de processos contínuos. Foi possível identificar aspectos positivos e negativos relacionados ao uso do CEP e que podem servir como orientação para prática das empresas e enriquecimento da teoria. Esses aspectos são discutidos a seguir.

A criação de um comitê, representado pelo *Staff* técnico na empresa em questão, pode ser considerada como uma forma de disseminação efetiva no uso do CEP pelas áreas da empresa na medida que coordena atividades de coleta e análise dos dados que, por sua vez, passam a ser executadas de forma mais analítica, servindo para priorizar produtos que são considerados críticos para a organização. Caso contrário, recursos poderiam ser gastos desnecessariamente.

A existência de itens de controle e de verificação pode ser considerada um agente facilitador na implantação CEP, uma vez que o encadeamento proporcionado por tal estrutura de indicadores de desempenho possibilita um entendimento maior sobre o processo e, com isso, uma priorização adequada das variáveis críticas para o controle da qualidade dos produtos.

O CEP precisa estar difundido de forma que os responsáveis pelos itens de controle tenham como atuar sobre os itens de verificação que os causam, ou seja, precisam de autonomia sobre os indicadores de desempenho relacionados com a variável que estão controlando. Caso isso não ocorra, o tempo entre a detecção de um problema e a sua solução pode ser acrescido desnecessariamente, pois a estrutura hierárquica tradicional pode aumentar o tempo de tomada de decisão.

A certificação ISO 9001 foi destacada como facilitadora do CEP porque a estrutura sistemática de procura pelas causas raízes dos problemas que ela propicia auxiliou no controle e melhoria dos processos. A ISO 9001 conjuntamente com o uso de ferramentas da qualidade foram considerados fatores facilitadores no uso do CEP, pois a busca sistemática pela causa raiz do problema demonstrou-se efetiva. Ao lado disso, a tecnologia de informação existente na empresa

atuou como um agente facilitador, devido a promover uma coleta e análise de dados mais eficiente e confiável.

Esta pesquisa apontou para alguns aspectos sobre o uso do CEP que quando levados em consideração podem auxiliar no uso efetivo do controle estatístico de processos. No entanto, destaca-se que futuras pesquisas podem elucidar melhor os fatores que precisam ser considerados na implementação do CEP.

Referências

- CAMPOS, V. F. TQC: controle da qualidade total no estilo japonês. 5ª Edição. Belo Horizonte: UFMG, 1992.
- CARVALHO, M. M. et al. Gestão da qualidade: teoria e casos. Rio de Janeiro: Atlas, 2005.
- GARVIN, D. A. Gerenciando a qualidade. Rio de Janeiro: QualityMark, 1992.
- MONTGOMERY, D.C. Introduction to Statistical Quality Control. John Wiley & Sons. 4ª Edição, 2001.
- RAMOS, A.W. CEP para processos contínuos e em bateladas. 1ª Edição. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.
- VALOR ECONÔMICO. São Paulo. Diário. Disponível em: <[http: www.valoronline.com.br](http://www.valoronline.com.br)>. Acesso em: 20/12/2007.
- YIN, R. K. Case study research: design and methods. Newbury Park: Sage Publications, 1994.