

Controle Estatístico de Processos (CEP): Uma Ferramenta para Melhoria da Qualidade

Statistical Process Control (SPC): A Tool for Quality Improvement

Rodolfo Bello Exler
Mestrando em Bioenergia (FTC)
Professor do SENAI/CIMATEC e da Universidade
de Uberaba

Cristian Jacques Bolner de Lima
Pós-Doutor em Microbiologia Industrial
Doutor e Mestre em Engenharia Química
Professor do Programa de Mestrado de Bioenergia
da Rede de Ensino FTC

Resumo

As exigências do mercado e a competitividade vivenciada pelas organizações apontam a necessidade de estabelecer formas de buscar a melhoria contínua de seus processos. Nesse âmbito, a melhoria de qualidade se faz diante da redução de variabilidade, fato esse consequente de ações de controle. Utilizar a Estatística para controlar processos tem sido uma constante em organizações do segmento produtivo que buscam então compreender a variação inerente ao seu processo produtivo e controlá-la almejando ganhos. Diante desse contexto, muitas organizações estão utilizando umas das principais ferramentas preventivas: o controle estatístico do processo. Assim, este artigo buscou destacar, de forma sucinta, a importância desta ferramenta de gestão da qualidade e seus pressupostos teóricos para aplicação e desenvolvimento.

Palavras-chave: Controle Estatístico de Processo. Qualidade. Gráfico de Controle.

Abstract

The demands of the market and competitiveness experienced by organizations highlight the need to establish ways to pursue the continuous improvement of its processes. In this context, the improvement of quality is on the reduction of variability, the fact that subsequent control actions. Using Statistics to track processes has been a constant in the productive sector organizations seeking the understanding of the variation inherent in their production process and control it aiming at their profits. Given this context, many organizations are using some of the main preventive tools: statistical process control. So, this article sought to highlight, succinctly, the importance of this quality management tool and its theoretical assumptions for application and development.

Keywords: *Statistical Process Control. Quality. Control Chart.*

1 INTRODUÇÃO

Em atenção a competitividade inerente ao mercado, a qualidade dos produtos e serviços ofertados a sociedade pode ser destacada como um elemento decisivo para que as organizações possuam vantagens quando relacionadas às outras.

Em determinados casos, inclusive, a certificação da qualidade do produto é imprescindível para a venda do mesmo. Por exemplo, pode-se citar o caso do Biodiesel¹, biocombustível que apenas pode ser comercializado após a emissão do Certificado da Qualidade obtido diante da análise de uma amostra representativa e que deverá apresentar resultados em consonância aos limites de especificação indicados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP)², responsável pela regulação da qualidade do segmento.

De acordo com Carvalho e Paladini (2005), Crosby define qualidade como sendo conformidade às especificações. Nesse contexto quando há grande variabilidade nos processos produtivos, a manutenção das especificações está em risco e assim a qualidade torna-se um alvo distante.

A variação nas características da qualidade, para Rotondaro et. al. (2002), é recorrente das diferenças possíveis em relação aos componentes básicos pertinentes aos processos, ou seja, materiais, mão-de-obra, máquinas, métodos, medição e meio ambiente. Logo, se há variação a utilização de técnicas e métodos para o controle e redução da mesma torna-se extremamente útil para a otimização e aperfeiçoamento dos processos.

Nesse contexto, apresenta-se o controle estatístico do processo (CEP) como uma técnica estatística onde permite-se a redução sistemática da variabilidade nas características da qualidade de interesse em determinado processo. Assim, conseqüentemente, contribui-se para a melhoria da qualidade intrínseca do produto, da confiabilidade, da produtividade, e, ainda, do custo do produto final (RIBEIRO, 2000).

Portanto, com objetivo de destacar a importância desta ferramenta de gestão da qualidade compreendendo seus pressupostos teóricos para aplicação e desenvolvimento, apresenta-se esse artigo.

2 EVOLUÇÃO DA QUALIDADE

As questões voltadas para a qualidade dos produtos e serviços fazem parte das relações sociais desde que chefes tribais, reis e faraós exerciam suas funções de governantes. Em 1700 a. C., por exemplo, era indicado pelo código de Hammurabi que inspetores estavam atentos à exatidão dos resultados das atividades diversas e ao tratamento dos desvios no processo de fabricação do mais arcaico objeto, ficando a cargo dos mesmos aceitar ou rejeitar produtos, de acordo com as rígidas especificações governamentais. Em 1400 a.C., egípcios conferiam a forma de blocos de pedra diante da utilização de um barbante (KLUG e MARSHALL, 2003).

De acordo com Montgomery (2012) entre os anos de 1700 e 1900 a qualidade era controlada pelos esforços dos artesãos, individualmente. Entretanto, como resultado da Revolução Industrial houve uma reconfiguração do processo de produção que desde então passou a acontecer em massa, fato esse possível diante da divisão do trabalho. A partir de então diver-

¹ Segundo a Lei no 11.097, de 13 de janeiro de 2005, o mesmo pode ser definido como biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento para geração de outro tipo de energia.

² Segundo ANP (2012), esta é uma autarquia federal, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, implantada pelo Decreto nº 2.455, de 14 de janeiro de 1998, responsável pela execução da política nacional para o setor energético do petróleo, gás natural e biocombustíveis e regulação de suas respectivas atividades.

esses estudos foram propostos ao longo do tempo, principalmente em relação ao gerenciamento científico.

É nesse contexto que estudiosos como Ford, com seus conhecimentos acerca do erro-prova da amostragem, auto inspeção e inspeção durante o processo, e Walter Shewhart, que em 1924 introduziu o conceito de controle estatístico da qualidade através do uso dos gráficos de controle, possibilitaram as organizações exercer funções de controle econômico da qualidade em ambiente de produção em grande escala. (MONTGOMERY, 2012)

Na segunda metade da década de 50, segundo Gitlow (1993), os conceitos de TQC (Total Quality Control - Controle de Qualidade Total) foram repercutidos diante do trabalho de Armand Feigenbaum, que desenvolveu diversas de suas percepções a partir dos trabalhos anteriormente divulgados por Deming e Juran.

Considerado no Japão como o pai do Controle de Qualidade, W. Edward Deming foi responsável por afirmar que a qualidade começa desde a alta administração, sendo ainda uma atividade estratégica. A filosofia básica de Deming indica que qualidade e produtividade aumentam na proporção que a variabilidade do processo sofre redução. (SLACK et al., 2005).

Joseph M. Juran buscou estabelecer uma relação onde as organizações alterassem a visão fabril tradicional de qualidade como “atendimento às especificações” para uma abordagem mais voltada ao usuário e a adequação do produto ao uso. (SLACK et al., 2005).

As contribuições ao longo da história foram de grande relevância para o entendimento de qualidade em voga nos dias atuais. A American Society for Quality (2012) - Sociedade Americana para a Qualidade - conceitua a qualidade como um termo subjetivo, para o qual cada pessoa, ou setor, tem a sua própria definição, sendo que em sua utilização técnica, a qualidade pode ter seu significado direcionado as características de um produto ou serviço, que dão suporte para sua habilidade em satisfazer aos requisitos especificados ou necessidades implícitas e também ao fato de um produto ou serviço ser livre de deficiências.

Contudo, ao considerar o Sistema de Gestão da Qualidade, cada vez mais amplamente aplicável e buscado pelas organizações diante dos requisitos da ISO 9000, a definição normativa indica que qualidade é o grau no qual um conjunto de características inerentes ao produto satisfaz a requisitos (ABNT NBR ISO 9000, 2005). No que concerne às características citadas, a norma prevê ainda que as mesmas se referem à propriedades diferenciadoras, ou seja, atributos físicos, sensoriais, comportamentais, temporais, ergonômicas ou funcionais.

Montgomery (2012), afirma, primeiramente, que qualidade é inversamente proporcional a variabilidade e em seguida aponta que a melhoria de qualidade é estabelecida quando essa variabilidade apresentada pelos processos e produtos é reduzida.

Ainda que o monitoramento e a garantia da qualidade, de acordo com Almas (2003), pareçam ser fatores de elevado grau de relevância para a sobrevivência e manutenção da competitividade das organizações no presente atual, foi nos últimos 50 anos que a qualidade e seu gerenciamento foram profundamente estudados, criando assim o alicerce para o Gerenciamento da Qualidade Total recorrente na atualidade.

O autor ainda aponta que por trás da metodologia de Gerenciamento da Qualidade Total existem diferentes possibilidades de técnicas que podem ser usadas para melhorar a qualidade do produto, sendo o Controle Estatístico de Processo uma das mais amplamente difundidas e aplicadas atualmente.

Corroborando com o tema, Ohshima & Tanigaki (2000) trazem em seus estudos a percepção de que as indústrias contemporâneas alcançarão vantagens competitivas e qualidade

diante da adoção de tecnologias capazes de maximizar o controle de produção das plantas, o desempenho e a segurança de seus produtos.

3 O PROCESSO E SUA VARIABILIDADE: MOTIVAÇÃO PARA O CONTROLE

Montgomery (2012), afirma que uma vez que todo produto apresenta como objetivo o atendimento às exigências do cliente, o mesmo deve ser produzido a partir de um processo devidamente estável ou replicável. Sendo assim, ainda segundo o autor, o processo produtivo deve ser capaz de operar com pequena variabilidade em torno das dimensões alvo ou nominais das características de qualidade do produto.

Diante do trecho acima, torna-se salutar a definição de alguns conceitos chave que nortearão os demais temas a serem tratados ao longo desse artigo. São eles: processo, características de qualidade e variabilidade.

Paladini (2009) conceitua processo como qualquer conjunto de condições, ou causas, que, agindo juntas, geram um dado resultado. Acerca dessa temática e em complementariedade com o autor antes referendado, a NBR ISO 9000 (2005) aponta que qualquer atividade, ou conjunto de atividades, que usa recursos para transformar insumos (entradas) em produtos (saídas) pode ser considerado um processo.

Todo produto possui determinados parâmetros que descrevem o que pode ser considerado como qualidade do mesmo, sendo esse conjunto de parâmetros denominado como característica da qualidade.

Segundo Rosa (2009) características de qualidade são os itens dos quais depende o funcionamento de todo o produto, ou seja, os parâmetros componentes de sua especificação, permitindo assim sua adequação ao uso. Tais parâmetros são definidos de acordo com o setor de engenharia da organização, relacionado então ao modelo do produto, ou em consonância com as normas reguladoras indicadas. O autor aponta ainda como exemplos de características da qualidade as propriedades dos materiais (químicas e físicas), aspectos éticos (cortesia e atendimento) e número de defeitos, sendo esses itens restringidos a valores máximos e mínimos chamados de limites de especificação ou tolerância.

Retornando ao exemplo do Biodiesel, citado anteriormente, as características de qualidade para esse biocombustível são impostas pela ANP que descreveu através da Resolução nº 14 de 2012 um grupo de especificações químicas e físicas para o produto final. Figura-se assim um caso onde as características de qualidade se referem à propriedades químicas e físicas indicadas por uma norma reguladora.

Ainda que produzido em um mesmo processo e pela mesma organização, todo produto sofre variações em relação a suas características da qualidade. Esse fato é justificado pela variabilidade corrente em razão de fontes como material, mão de obra e diferenças entre equipamentos. Sobre a variabilidade em processos produtivos, contribui Montgomery (2012):

Em qualquer processo de produção, independentemente, de quão bem planejado ou cuidadosamente mantido ele seja, uma certa quantidade de variabilidade inerente ou natural sempre existirá.

Acerca do tema, uma percepção complementar é destacada através do trecho sinalizado a seguir:

A variabilidade pode ser observada no comportamento e nos resultados de muitas atividades, mesmo sob condições de estabilidade aparente. Tal variabilidade pode

ser observada nas características mensuráveis dos produtos e processos, e pode ser detectada em vários estágios, ao longo do ciclo de vida do produto (...) (ABNT NBR ISO 9000, 2005).

Rosa (2009) afirma que em qualquer processo existe certa quantidade de variabilidade em torno de seis determinados fatores: materiais, máquinas, medidas, mão de obra, método e meio ambiente. Ainda segundo o referido autor, a variação e seus efeitos são estabelecidos diante de duas possibilidades de causas.

Quando a variabilidade é natural aos sistemas produtivos, a mesma é atribuída a causas comuns ou aleatórias, ou seja, aquelas que não provocam grandes alterações na qualidade do produto, pois são naturais do processo de fabricação (ROSA, 2009). Montgomery (2012) delimita que essa variabilidade natural ou “ruído de fundo” é o efeito cumulativo de muitas causas pequenas, essencialmente inevitáveis. Embora as causas comuns possam ser reduzidas através de investimentos em novas e melhores máquinas, matéria prima de maior qualidade, capacitação continuada da equipe, melhorias no ambiente de trabalho, entre outros, elas sempre farão parte do processo (CARVALHO E PALADINI, 2012).

Entretanto, a variabilidade pode ser resultante de outras possibilidades que não são inerentes ao processo produtivo em seu curso natural. Carvalho e Paladini (2012) e Rosa (2009), denominam esse outro grupo de causas como especiais pois ocorrem ocasionalmente, porém provocam sensíveis alterações e exigem breve ação corretiva. Diante do tema, complementa-se:

Outros tipos de variabilidade podem, ocasionalmente, estar presente na saída de um processo. Essa variabilidade nas características chave da qualidade surge, em geral, de três fontes: máquinas ajustadas ou controladas de maneira inadequada, erros do operador ou matéria prima defeituosa. Tal variabilidade é, geralmente, muito grande quando comparada com o ruído de fundo, e representa, usualmente, um nível inaceitável de desempenho do processo. Referimo-nos como “causas atribuíveis”. (MONTGOMERY, 2012)

Portanto, sempre haverá variação. O que diferenciara o desempenho produtivo e, conseqüentemente, a qualidade do produto final, será então o tipo de causa existente em seu curso. Assim, quando o processo estiver operando apenas diante de causas comuns, o mesmo estará em estado de controle estatístico, possibilitando que a produção ocorra em níveis aceitáveis por períodos relativamente extensos.

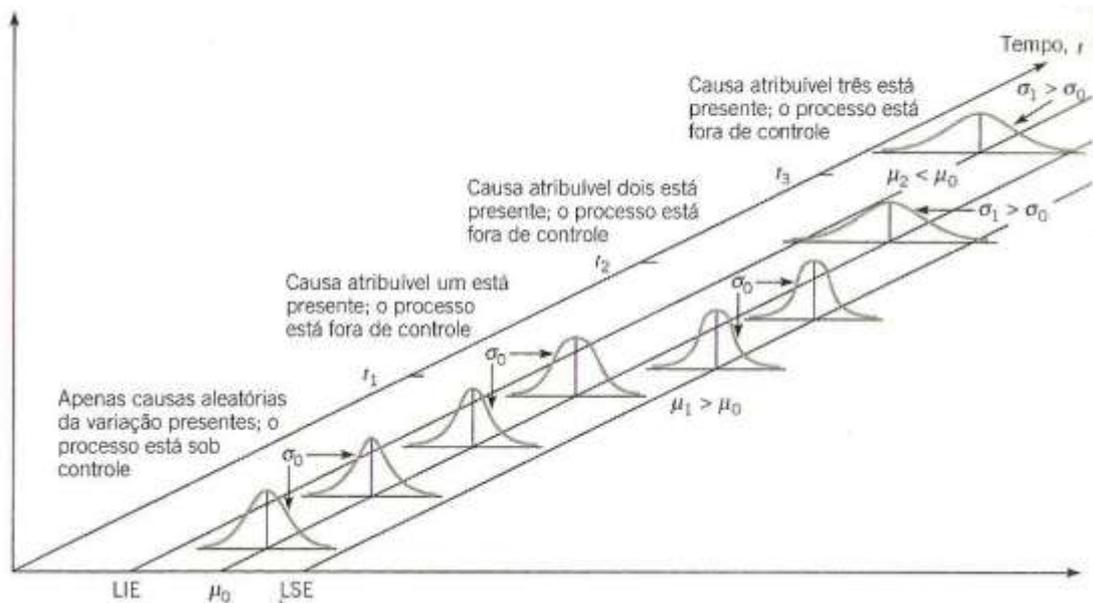


Figura 2: Causas atribuíveis e aleatórias de variabilidade
Fonte: Montgomery (2012)

Nesse contexto, a utilização de técnicas estatísticas atua no entendimento da variabilidade dos processos e assim pode auxiliar as organizações na resolução de problemas e melhorias no que tange a sua eficácia e eficiência, possibilitando também um melhor uso dos dados disponíveis para orientação durante a tomada de decisões (ABNT NBR ISO 9000, 2005).

4 CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO - CEP

No período compreendido entre os anos de 1930 e 1950, ao tempo em que se estabeleciam transformações no âmbito da tecnologia dos regimes produtivos, consolidava-se o Controle Estatístico da Qualidade, sendo esse introduzido no ano de 1924 como resultado dos esforços do Dr. Walter A. Shewart, em sua atuação profissional na Bell Telephone Laboratories, a quem também se atribui a criação do ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Act), posteriormente divulgado por Edwards Deming. (GARVIN, 2002).

Enquanto avaliava os dados de um dos processos de seu laboratório no Bell Telephone Laboratories, o Dr. Walter A. Shewart, durante a década de 20, foi responsável pela primeira formalização da distinção entre variação controlada e não controlada, anos mais tarde denominadas de causas comuns e causas especiais conforme explanado anteriormente. Coube ao Dr. Shewart o desenvolvimento de uma ferramenta simples, entretanto poderosa, para a separação de ambos os tipos de causas. A essa ferramenta foi atribuído o nome de Carta de Controle. (MARTINS, 2011)

No que concerne a definição atribuída ao Controle Estatístico de Processo, pode-se destacar as seguintes contribuições sobre o tema:

- Segundo Carvalho et al (2012), cabem aos mecanismos de controle estatístico de processo envolver um grupo de técnicas que analisam alterações no processo produtivo, ao tempo que determinam sua natureza e frequência de ocorrência;

- Para Rosa (2009), o CEP tem como objetivo maior, possibilitar o conhecimento do processo, diante do monitoramento da estabilidade do mesmo e do acompanhamento dos seus parâmetros ao longo do tempo;
- Colabora Bayeux (2001) que a ideia da aplicação de técnicas estatísticas como meio para determinação dos processos de produção apontou uma mudança revolucionária no que tange ao enfoque gerencial da qualidade;
- De acordo com Woodall (2000) o controle estatístico de processos é uma sub-área do controle estatístico da qualidade, e consiste em uma metodologia para entendimento, monitoramento e melhoria de performance do processo ao passar do tempo;
- Afirmando Resende & Carpinetti (1999) que esse grupo de técnicas é responsável pelo aumento da produtividade, atua efetivamente na detecção de inconformidades e prevenção de ajustes desnecessários de processo, através das informações de diagnóstico e avaliações permitidas diante do cálculo da capacidade do processo.

A Figura 3, apresentada a seguir, possibilita a identificação das etapas envolvidas para a operacionalização do CEP que é iniciada no momento de coleta de dados.

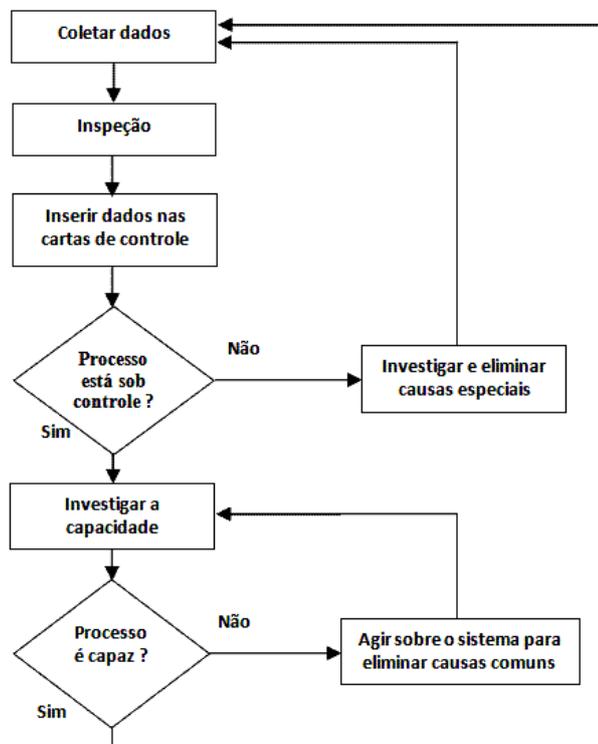


Figura 3: Operacionalização do CEP

Fonte: Adaptado de Ribeiro e Caten (1998)

Os dados são então o alicerce de toda análise pois cabe ele retroalimentar o sistema de avaliação e melhoria contínua do processo. Diante dos mesmos é relevante citar a importância de verificar a estabilidade dos processos uma vez que processos instáveis provavelmente irão resultar em produtos que não atendem as especificações, perda de produção, baixa qualidade e de modo geral, perda de mercado.

Observando atentamente a Figura 3, é salutar o desenvolvimento dos gráficos de controle para entendimento do processo e continuidade da avaliação a ser desenvolvida. O suces-

so do CEP terá uma relação direta do nível de entendimento da organização acerca dos gráficos de controle utilizadas pelas mesmas (HRADESKY, 1988).

5 GRÁFICOS DE CONTROLE

Destaca-se como principal elemento do Controle Estatístico de Processo a carta de controle, representação gráfica que diante do histórico de dados apresentados permite a identificação de determinados comportamentos do processo ao longo do tempo e também a detecção de incidência de causas especiais (PIRES, 2000).

De acordo com a descrição de Lina & Woodall (2001), os gráficos de controle são ferramentas utilizadas no monitoramento da precisão e exatidão de um processo produtivo ao longo do tempo através da verificação dos desvios observados de padrões conhecidos. As Cartas de Controle, segundo a percepção de Michel (2001), prevalecem-se para dados de entrada de medições realizadas em atenção a uma definida característica de qualidade do processo. Vale salientar que as referidas medições devem ser realizadas em pontos espaçados de tempo ou volume de produção.

Para o desenvolvimento dos gráficos de controle é necessária a plotagem de pontos representativos das medições realizadas e a adição de três linhas, sendo uma central e as demais de controle. As linhas de controle, também denominadas como limite inferior de controle (LIC) e limite superior de controle (LSC), são calculadas a partir de uma medida de dispersão e possuem o objetivo de alertar se o processo sofreu algum distúrbio que possa interferir em seu estado de controle estatístico (ALMAS, 2003)

Almejando a construção do gráfico de controle, Montgomery (2004) recomenda que sejam tomadas de 20 a 25 amostras com o objetivo de testar se o processo está estável. Destaca-se que tais dados podem ser resultantes de registros históricos do processo. Com os dados obtidos nas amostras, deve ser construída a carta de controle e assim, se todos os pontos caem dentro dos limites e não se observa nenhum comportamento sistemático, é possível concluir que o processo está sob controle estatístico. Em caso de ocorrência de um ou mais pontos fora dos limites de controle, é rejeitada a hipótese de que o processo está sob controle e logo se torna necessário examinar cada ponto fora dos limites para entendimento por parte da gestão de qual causa especial está impactando no processo.

No entanto, para os processos em que uma causa especial for identificada na elaboração dessa primeira avaliação do mesmo, o ponto deverá ser descartado e os limites de controle recalculados com base apenas nos pontos restantes. Em seguida, os pontos deverão ser reexaminados, repetindo-se este processo até que todos os pontos estejam sob controle (MONTGOMERY, 2004).

Contribuindo com o tema, Ramos (2000) descreve o processo de desenvolvimento de uma carta de controle onde coleta-se as amostras da produção durante certo período de tempo, elabora-se as cartas de controle através de seus pontos e limites, analisa-se as cartas de controle no que concerne a presença de causas especiais, e quando for detectada a ocorrência de causas especiais, deve-se buscar identificar, e eliminá-la, prevenindo sua repetição, e em seguida recomençar os estágios até a conclusão de que o processo esteja estável, sob controle.

Entre os objetivos da utilização de uma carta de controle está a verificação da existência de padrões não aleatórios que, assim como os pontos fora dos limites, indicam a existência de ocorrências por causas especiais de variação. A norma ISO 8258:1991 prevê oito regras de

avaliação do controle de processo, as quais são apresentadas a seguir pelo Quadro 1 e pela Figura 4.

REGRA	ESPECIFICAÇÕES
Regra 1	Qualquer ponto fora dos limites de ação
Regra 2	Nove pontos consecutivos na zona C ou para além da zona C do mesmo lado da linha.
Regra 3	Seis pontos consecutivos no sentido ascendente e descendente.
Regra 4	Catorze pontos consecutivos crescendo e decrescendo alternadamente.
Regra 5	Dois de três pontos consecutivos na zona A, do mesmo lado da linha central.
Regra 6	Quatro de cinco pontos consecutivos na zona B ou A, do mesmo lado da linha central
Regra 7	Quinze pontos consecutivos na zona C acima e abaixo da linha central.
Regra 8	Oito pontos consecutivos de ambos os lados da linha central, sem nenhum na zona C.

Quadro 1: Regras para a detecção de causas especiais (Norma ISO 8258:1991).

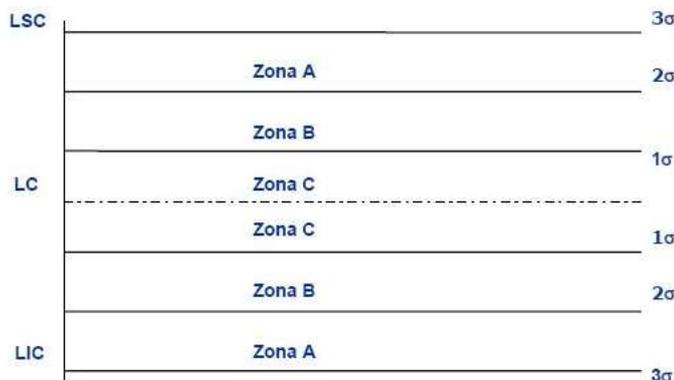


Figura 4: Zonas de detecção de causas especiais.

Uma comparação interessante é realizada por Oakland (2008) que relaciona as cartas de controle a um sinal de trânsito onde o funcionamento baseia-se em evidências levantadas pelas amostras retiradas durante intervalos do processo. Assim, a luz verde que representa o sinal de conformidade é emitida quando o processo produz de acordo, apresentando as causas comuns intrínsecas ao processo. Quando o processo começa a indicar comportamentos diferentes do normal acende-se a luz amarela. Por fim quando os pontos saem dos limites de controle ou apresentam alguma configuração especial, estabelece-se a luz vermelha e esse fato indica que ocorreram causas especiais de variação sendo necessárias as medidas corretivas.

Ainda que a normalidade do processo seja um pressuposto para a utilização dos gráficos de controle, Slack et al (2008) afirma que os processos necessariamente não possuem variação de seu desempenho em consonância com uma distribuição normal, entretanto, quando extrai-se uma amostra referente a qualquer outro tipo, verifica-se que a distribuição das médias da amostra se aproxima à uma distribuição normal. Corroborando com o tema, Pires (2000) afirma que ao trabalhar com médias ao invés de observações individuais da variável de interesse, caberá ao teorema do limite central garantir a normalidade da distribuição amostral das médias.

5.1 TIPOS DE GRÁFICOS DE CONTROLE

De acordo com a característica que está sendo avaliada no processo uma respectiva carta de controle deverá ser utilizada de acordo com as características dos dados coletados e do próprio processo. Basicamente, dois grupos principais são propostos para organização dos gráficos de controle: Variáveis e Atributos.

Para Martins & Laugeni (2005) variável é tudo aquilo que pode ser medido como comprimento, diâmetro e altura. Assim, os gráficos de controle para variáveis devem ser usados para processos onde as características da qualidade observadas podem ser expressas em termos numéricos.

Quando se utilizam os gráficos de controle para monitoramento de uma característica de qualidade que está sendo verificada e expressa através de medidas, é costume monitorar o valor médio correspondente a essa característica de qualidade e também sua variabilidade (FERREIRA et al, 2008).

Nesse contexto, em relação a esta categoria de gráficos de controle, os mais utilizados estão apresentados da Tabela 1 (MONTGOMERY, 2012; ROSA, 2009; RIBEIRO E CATEN, 2000). Diante da verificação das fórmulas utilizadas para o cálculo dos limites de controle é possível perceber a presença de coeficientes ou constantes (como por exemplo, A_3 , D_4 , A_2 , etc) que são valores tabelados em função do tamanho da amostra e que constituem um referencial para o desenvolvimento dos cálculos (ROSA, 2009; CARVALHO E PALADINI, 2012).

Tabela 1: Fórmulas para cálculo dos limites de controle para cartas por variáveis.

TIPO DE GRÁFICOS	LIMITES DE CONTROLE	
	GRÁFICO	FÓRMULAS
Xbarra e R	Média	$LSC = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$ $LC = \bar{\bar{x}}$ $LIC = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$
	Amplitude	$LSC = \bar{R} D_4$ $LC = \bar{R}$ $LIC = \bar{R} D_3$
Média e Desvio Padrão	Média	$LSC = \bar{\bar{x}} + A_3 \bar{R}$ $LC = \bar{\bar{x}}$ $LIC = \bar{\bar{x}} - A_3 \bar{R}$

	Desvio Padrão	$LSC = B_4 \bar{S}$ $LC = \bar{S}$ $LIC = B_3 \bar{S}$
Mediana e Amplitude	Mediana	$LSC = \bar{\tilde{x}} + \tilde{A}_2 \bar{R}$ $LIC = \bar{\tilde{x}}$ $LIC = \bar{\tilde{x}} - \tilde{A}_2 \bar{R}$
	Amplitude	$LSC = D_4 \bar{R}$ $LIC = \bar{R}$ $LIC = D_3 \bar{R}$
Medidas individuais e amplitude móvel	Medidas Individuais	$LSC = \bar{x} + 3 \frac{\overline{AM}}{d_2}$ $LC = \bar{x}$ $LIC = \bar{x} - 3 \frac{\overline{AM}}{d_2}$
	Amplitude Móvel	$LSC = D_4 \overline{AM}$ $LC = \overline{AM}$ $LIC = 0$

Em outros casos, as características da qualidade do produto em monitoramento não possuem a necessidade de serem medidas, ou seja, apenas precisam ser contadas como resultados de uma classificação (MARTINS E LAUGENI, 2005; AQUILADO E CHASE, 2001). Nessa perspectiva é que são desenvolvidas as cartas de controle para atributo. Sobre o tema, corrobora:

Os gráficos de Controle para atributos são usados em situações nas quais não se aplicam medições para controle do processo, mas as unidades produzidas são classificadas como aceitáveis ou inaceitáveis, ou, ainda, quando se busca identificar o número de defeitos numa unidade de produto ou numa amostra. Neste caso, os dados são obtidos por contagem (ROSA, 2009).

Assim, o grupo de cartas de controle para atributos se organiza em quatro tipos de cartas: carta para fração defeituosa (p), carta para número de unidades defeituosas (np), carta para defeitos por unidade (u), carta para número de defeitos na amostra (c). Suas fórmulas usuais são apresentadas na tabela 2 (ROSA, 2009; MONTGOMERY, 2012).

Tabela 2: Fórmulas para cálculo dos limites de controle para cartas por atributos.

TIPO DE GRÁFICO	FÓRMULAS	
	Linha média	Limites de Controle
Carta p	$LC = \bar{p}$	$LSC = \bar{p} + 3 \frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n}}$ $LIC = \bar{p} - 3 \frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n}}$

Carta np	$LC = n\bar{p}$	$LSC = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$ $LIC = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$
Carta c	$LC = \bar{c}$	$LSC = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$ $LIC = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$
Carta u	$LC = \bar{u}$	$LSC = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$ $LIC = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$

6 AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE PROCESSOS

Os índices de capacidade do processo (ICPs) são utilizados para medição indireta de quanto o processo em avaliação é capaz de atender às especificações estabelecidas para a característica em observação. Desse modo, quanto mais elevado for o valor calculado para índice, esse é o indicativo de que o processo é capaz de satisfazer as exigências de especificações. Cabe destacar que esses índices são valores adimensionais que permitem a qualificação do desempenho do processo uma vez que o mesmo esteja em estado de controle estatísticos do processo (COSTA ET AL, 2005).

São utilizados dois tipos de índices de capacidade: Capacidade potencial (Cp) e a capacidade atual (Cpk). Cabe ao Cp indicar a capacidade, ou capacidade, que o processo pode atingir se estiver centrado. Assim, um processo é classificado como potencialmente capaz se o valor obtido com o cálculo do Cp for maior que um. Para casos onde o valor encontrado for inferior ao citado, teremos evidências de que existem causas comuns de variação que não permitem ao processo produzir respeitando a faixa de especificação. Vale destacar que o índice Cp não deve ser avaliado isoladamente e sim acompanhado do valor de Cpk (MARTINS E LAUGENI, 2005).

A este segundo índice cabe a responsabilidade de medir diretamente a qualidade do processo produtivo, pois ele verifica a relação de centralização do processo em função dos limites de especificação do produto, sendo a interpretação do valor final do mesmo realizado sob o mesmo critério citado para o Cp (MARTINS E LAUGENI, 2005).

O desenvolvimento do cálculo do índice Cp é realizado em função dos limites de especificação do produto e do desvio padrão estimado para os dados. Assim sendo, a fórmula que permite o cálculo do Cp é apresentada a seguir:

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}}$$

Onde:

LSE = Limite Superior de Especificação

LIE = Limite Inferior de Especificação

$\hat{\sigma}$ = Desvio Padrão Amostral Estimado

Montgomery (2012) corrobora citando que o valor de Cp pode ser usado também para o cálculo do percentual da faixa de especificação que está sendo utilizada pelo processo. Sendo assim, a mesma é dada por:

$$P = \left(\frac{1}{Cp} \right) 100$$

A razão de capacidade estabelecida para um processo, Cp, conforme discutido em parágrafos anteriores, não considera onde está localizada a média do processo em relação as especificações. Desse modo, uma outra razão que reflete mais precisamente a centralização do processo, é destacada pelo valor Cpk que analisa de forma unilateral, conforme fórmula abaixo, a relação entre os limites de especificação (LSE e LIE), a média do processo e os três desvios estimados (MONTGOMERY, 2012)

$$Cpk = \text{Min} \left(\frac{LSE - \bar{x}}{3\hat{\sigma}}, \frac{\bar{x} - LIE}{3\hat{\sigma}} \right)$$

Assim, para efeito de interpretação e análise o valor escolhido deverá ser o menor no que tange a relação LSE/ média e média/ LIE pois este valor indicará que o processo esta tendencioso para essa medida de caracterização. Desse modo enquanto o Cp aponta a capacidade potencial do processo o Cpk complementa a percepção com a capacidade efetiva do mesmo, ampliando as verificações e orientações para melhorias.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A atualidade permite perceber que qualidade não é resultado apenas do processo de inspeção e controle realizando quando concluídas as etapas de produção de um produto ou execução de um serviço. É necessário o desenvolvimento integrado de elementos referentes tanto ao produto quanto ao processo, assim sendo vital a aplicação de metodologias preventivas almejando a garantia da qualidade perante o mercado.

Nesse contexto, a utilização do Controle Estatístico de Processo pelas organizações surge como um agente que possui como responsabilidade a elevação os indicadores de qualidade e produtividade empresarial. Assim, como o arcabouço teórico do CEP está no controle das variações negativas ao processo e quanto menor for a variabilidade no processo produtivo maior serão os ganhos obtidos pela organização, somente colherão bons frutos os gestores que fizerem uso dessa, comprovadamente eficaz, ferramenta de melhoria continua da qualidade.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9000: sistemas de gestão da qualidade: fundamentos e vocabulários**. Rio de Janeiro, 2005.

ALMAS, Fabio. **Implementação de Controle Estatístico de processos em uma empresa têxtil**. Dissertação de mestrado. Itajubá(MG): UNIFEI, 2003.

AQUILANO, N. J.; JACOBS, F.R. & CHASE, R.B. **Administração da Produção para vantagem competitiva**. 10. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

AMERICAN SOCIETY FOR QUALITY. Disponível em < <http://asq.org/index.aspx> >, Acesso 01.09.2012

CARVALHO, M. M.; PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade: teoria e casos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

_____. **Gestão da qualidade: teoria e casos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

COSTA, A. F. B.; EPPRECHT E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle estatístico de qualidade**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2005.

DINIZ, Marcelo Gabriel. **Desmistificando o controle estatístico de processo**. São Paulo: Artliber Editora, 2001.

FERREIRA, Paula de Oliveira ; MEDEIROS, Pledson Guedes; OLIVEIRA, Luciana Maria. **Utilização do controle estatístico do processo para monitoramento do peso médio de cápsulas de tuberculostáticos: um estudo de caso**. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro, 2008.

HRADESKY, J. L. **Productivity & Quality Improvement: A Practical Guide to Implementing Statistical Process Control**. New York: McGraw-Hill, 1988.

GITLOW, H.S. **Planejando a Qualidade, Produtividade e a Competitividade**. Rio de Janeiro – RJ: Qualitymark ed. 1993.

KLUG, M.; MARSHALL, I.; VITERBO, E. **Gestão da qualidade**. São Paulo, 2003.

MARTINS, P. G. & LAUGENI, F. P. **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.

_____. **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

MICHEL, R. **Cartas adaptativas de controle: desenvolvimento de metodologia para implementação em processos de manufatura**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.

MONTGOMERY, Douglas. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. 4ed, Rio de Janeiro: LTC, 2012.

_____. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

OHSHIMA, M., TANIGAKI, M. Quality Control of Polymer Production Processes, **Journal of Process Control**, vol. 10, 135-148, 2000

OAKLAND, J. **Statistical Process Control**. 6ª Edição. Oxford: Butterworth-Heinemann.2008

PALADINI, E.P. **Avaliação Estratégica da Qualidade**. 2ª Edição. São Paulo: Atlas, 2009

PIRES, V. T. **Implementação do controle estatístico de processo em uma empresa de manufatura de óleo de arroz**. 2000. Dissertação (Mestrado profissionalizante em Engenharia) – Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

RAMOS, E.M.L.S. **Aperfeiçoamento e desenvolvimento de Ferramentas do Controle Estatístico da Qualidade** – Utilização do Quartil para estimar o Desvio Padrão. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

RIBEIRO, José L. D; TEN CATEN, Carla S. **Controle Estatístico do Processo**. Série monográfica Qualidade. Apostila do programa de pós graduação em engenharia de produção – PPGE – UFRGS: Porto Alegre, 2000.

ROSA, Leandro Cantorski. **Introdução ao Controle Estatístico de processos**. Santa Maria: Editora da UFSM, 2009.

ROTONDARO, Roberto G., et al. **Seis Sigma: Estratégia Gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços**. São Paulo: Atlas, 2002.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo-SP: Atlas, 2005.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert & BETTS, Alan. **Gerenciamento de operações e de processos: princípios e práticas de impacto estratégico**. Porto Alegre: Bookman, 2008.