

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

MATERIAL DIDÁTICO

CONTROLE ESTATÍSTICO DE QUALIDADE

Material didático desenvolvido para suporte das atividades dos discente do Curso de Graduação em Zootecnia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

Eng. Agron. Dr. Murilo Ap. Voltarelli
Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva
Eng. Agron. Tiago de Oliveira Tavares
Eng. Agron. MSc. Carla Strini S. Paixão
Prof. Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

AGOSTO DE 2015

SUMÁRIO

1. Introdução	1
2. Usos de gráficos sequenciais (<i>Run chart</i>).....	1
3. Carta de controle de valores individuais	2
4. Carta de amplitude móvel.....	3
5. Carta da média móvel exponencialmente ponderada	3
6. Média móvel.....	5
7. Índices de capacidade de processo.....	6
8. Análise do modo e efeito de falhas	7
9. Aplicações das ferramentas de controle estatístico de processo da agricultura.....	9

CONTROLE ESTATÍSTICO DE QUALIDADE

1. Introdução

2. Usos de gráficos sequenciais (*Run chart*)

A utilização dos gráficos sequenciais é uma ferramenta importante para acompanhar a continuidade do processo ao longo do tempo, por meio das detecções de padrões de não-aleatoriedade bem como alterações no comportamento dos mesmos. Por outro lado, também é uma maneira de verificar a variabilidade dos resultados (MINITAB, 2007), podendo o processo permanecer ou não previsível e, caso seja necessário, mudanças ou alterações no decorrer do processo devem ser realizadas para sua melhoria.

Esta ferramenta que, segundo Werkema (2006) é um gráfico de dados ao longo do tempo, utilizado para verificação do processo, permite identificar a presença de causas especiais de variação e também inferir na redução da variabilidade. De acordo com National Health Service - NHS Scotland (2013), este tipo de gráfico é uma sequência ordenada de dados, com um eixo horizontal centralizado. Um gráfico sequencial permite o monitoramento do processo e a identificação do tipo de variação a que o mesmo está submetido ao longo do mesmo. O eixo central pode representar a média ou a mediana, sendo a média mais usada na maioria dos casos, exceto para dados discretos.

Segundo Wisconsin Hospital Association - WHA Quality Center (2013) estes gráficos sequenciais também são usados para identificar possíveis *outliers* entre os dados observados, podendo esta análise ser útil para a resolução de problemas e para a comparação com um padrão de processo ou exigência.

A utilização dos gráficos sequenciais pode ser realizada em diversas fases do processo, bem como para qualquer tipo de operação que seu uso não seja limitado. Neste contexto, esta análise pode ser verificada em linhas de produção de peças industriais, controle de qualidade laboratorial, detecção de níveis anabolizantes em atletas, redes neurais em computadores, operações agrícolas, dentre outras. Ressalta-se se ainda, que a utilizações de padrões sequenciais empregados para determinados processos são importantes para não incorrer em interpretações incertas, ou seja, é necessário quantificar a sequência de pontos a ser condizente para cada padrão associando-os a cada variável em estudo. Exemplos da utilização de *run charts* podem ser encontrados nos trabalhos de Perla, Provost e Murray (2011), Cheng e Cheng (2009), Hill e Schvaneveldt (2011), Yang e Yang

(2005), Ranaee e Ebrahimzadeh (2011), Ebrahimzadeh, Addeh e Rahmani (2012), Guh (2008), Cassia (2012).

Às vezes, as avaliações realizadas na coleta contínua de dados de um determinado processo, construção de gráficos de controle, análise de gráficos sequenciais e tabelas, dentre outros, acabam não sendo efetivamente utilizados para a melhoria e controle do processo pela falta de capacidade de interpretação destes resultados. Nesta fase, é importante a capacitação dos operadores e gerenciadores da operação, já que o ideal é que eles mesmos façam, corretamente, essa interpretação e tornem realidade seus planos de melhorias (SOUZA, 2003). Como afirma Batista (1996), é preciso ter sempre em mente, que sem conhecimento e sem aplicação do conhecimento, não há evolução e melhoria em qualquer atividade que se deseja trabalhar com níveis de qualidade exigidos.

3. Carta de controle de valores individuais

As cartas de valores individuais devem ser implementadas para o monitoramento das variáveis que influenciam a qualidade dos itens ou processo produzidos ao longo do tempo (MINITAB, 2007). Neste contexto, uma determinada variável pode ser monitorada por sucessivas amostras podendo ser coletadas em certos períodos de tempo, em lotes de produção, em tempo real, lotes de matéria prima, dentre outros, ou seja, são variáveis que possuem características mensuráveis de determinado processo, podendo ser consideradas como contínuas (WERKENA, 1995), não utilizando-as em variáveis discretas.

Durante o monitoramento do processo, se estas amostras apresentadas em tempo cronológico, ou seja, quantifica a variação pontual da amostra em torno da média (MONTGOMERY, 2004), quando comparada aos limites de controle apresentarem pontos que os extrapolem, o processo é considerado fora de controle estatístico (MINITAB, 2007) e a verificação da procura das causas especiais que o afetam é necessária para aumentar a qualidade dos itens produzidos.

Contudo, a finalidade deste gráfico é a detecção de possíveis variações externas ao processo, inferir na capacidade do mesmo; forçar o gerenciamento da operação com a criação de um plano de melhorias; redefinir se necessário os padrões de qualidade de determinados itens de produção; avaliar se as melhorias surtiram efeitos nos produtos e/ou serviços; e manter a qualidade da operação caso a mesma satisfaça os padrões de qualidade exigidos, sempre levando em consideração até que ponto a melhoria contínua do processo não afeta os custos de produção.

4. Carta de amplitude móvel

A utilização da carta de amplitude móvel tem a finalidade de detectar a variabilidade existente no decorrer do processo decorrente da carta de valores individuais, na qual, seus valores se constituem da diferença entre dois pontos consecutivos, em módulo, e quando a diferença entre esses pontos ultrapassam os limites de controle é constatado que o processo potencialmente possui causas especiais influenciando sua qualidade (MINITAB, 2007), portanto retrata a variação existente dentro da amostra em um dado instante de tempo. No entanto, a utilização conjunta das cartas de amplitude móvel com as de valores individuais, é extremamente essencial para o monitoramento e compreensão das possíveis causas especiais que afetam o processo para tentar minimizar sua variação o que incorre em aumento da qualidade (MINITAB, 2007).

Portanto, quando a carta para a variação do processo está com pontos fora dos limites de controle ou apresenta-se instável, os limites para a carta das observações individuais podem ser calculados erroneamente, não apresentando confiabilidade para avaliação do processo. Neste caso, a falta de controle se deve mais à instabilidade do que às variações externas ao processo. Diz-se então, que o processo está fora de controle devido à variação (MINITAB, 2007). Por outro lado, quando a carta de controle para a variação estiver sob controle, ou seja, os pontos dentro dos limites inferior e superior de controle, analisa-se a carta dos valores individuais, e se essa demonstrar a presença de pontos que extrapolem os limites de controle há atuação de causas especiais decorrente do processo.

5. Carta da média móvel exponencialmente ponderada

Os modelos de cartas de controle em que se utiliza a média móvel exponencialmente ponderada (MMEP), também denominada de gráficos de controle avançados, são aprimoramentos dos gráficos de Shewhart desenvolvidos para situações específicas, na qual se deseja minimizar, simultaneamente, a ocorrência de pontos fora dos limites de controle (alarmes falsos) e alarmes não visíveis (AMIRI; ALLAHYRI, 2012), em virtude de sua maior rigorosidade de análise em relação às cartas de valores individuais e da média móvel, sendo também capaz de determinar se um processo é ou não estável (Figura 1)

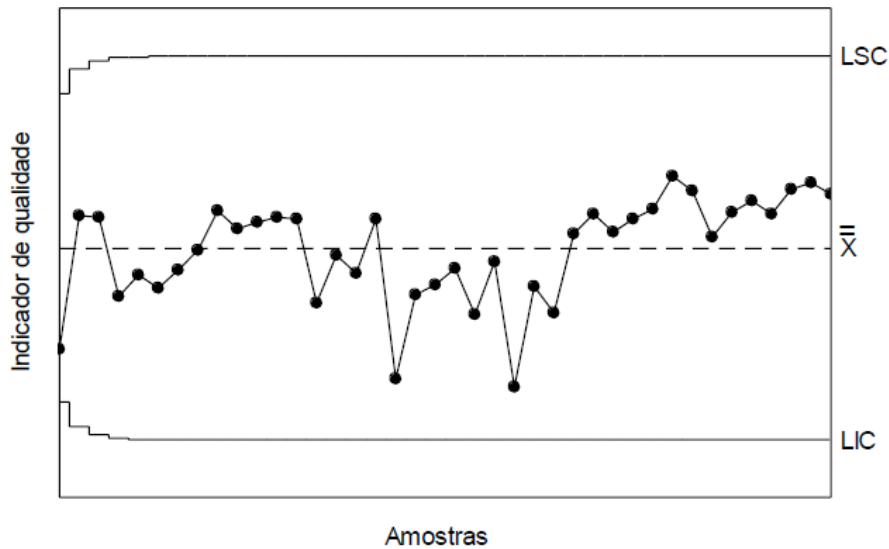


Figura 1. Modelo de carta de controle da média móvel exponencialmente ponderada. LSC: limite superior de controle; LIC: limite inferior de controle. \bar{x} : média estimada dos valores individuais.

Este gráfico pode ser uma boa alternativa ao gráfico de controle de Shewhart, para detectar pequenas variações no comportamento dos indicadores de qualidade ao longo do tempo e fornecer uma estimativa do novo nível do processo. O uso da MMEP para monitorar as perdas na colheita de cana-de-açúcar, que possuem elevada variabilidade, pode vir a ser viável, sendo que seu valor calculado acumula informações sucessivas, ponderando as amostras e atribuindo maior peso para as observações mais recentes, e peso menor para as mais remotas, isto é, o peso dado às amostras decresce geometricamente da primeira até a última amostra (MASTRANGELO; MONTGOMERY, 1995).

A escolha dos parâmetros λ (fator de rigidez de análise) e L (múltiplo do desvio-padrão) para o procedimento de planejamento ótimo de um gráfico MMEP consiste na seleção adequada desta combinação (λ, L) capaz de fornecer seu melhor desempenho. Quando $L = 3$ (os limites 3 usuais, das cartas de Shewart) funciona razoavelmente bem, particularmente com valores maiores de λ . No entanto, quando λ pequeno, por exemplo, $\lambda = 0,1$, existe uma vantagem de reduzir a amplitude do limite de controle pela utilização de um L entre 2,6 e 2,8. O analista de processos deve ter em mente qual o menor valor de λ a se escolher para detectar pequenas variações ao longo do processo (MONTGOMERY, 2009).

Assim, se um valor λ pequeno for utilizado, como $\lambda = 0,01$, então L deve ser reduzido, por exemplo, para $L = 2$. Outro aspecto importante é o comportamento dos limites

de $[1-(1-\lambda)^{2i}]$ controle, pois como $|1-\lambda| < 1$ a sequência $(1-\lambda)^{2i}$ tende para zero e i tende para o infinito, e o termo aproxima-se da unidade i tornando-se de elevado valor. Isto significa que, após o gráfico de controle MMEP ter percorrido diversos períodos de tempo, os limites de controle têm a forma assintótica e aproximam-se dos valores de posição fixa, tendendo a sua estabilização (MONTGOMERY, 2009).

Os usos destes valores para a elaboração dos limites de controle da MMEP são em função de estudos específicos na área de engenharia de produção, porém os valores direcionados a sua utilização, aplicada para os indicadores de qualidade relacionados à área agrícola, ainda são escassos e/ou inexistentes, para a maioria das operações agrícolas mecanizadas. Portanto, ainda não se sabe ao certo qual valor utilizar para tal parâmetro, podendo este ser dependente do tipo de indicador de qualidade avaliado e de como foi quantificado.

6. Média móvel

A carta de controle da média móvel representa inicialmente os valores individuais e, posteriormente, os valores da média móvel de abrangência (w), estipulado em virtude da rigorosidade a ser implementada na análise. O número de valores individuais apresentados corresponde ao valor da média móvel de abrangência, sendo esta abrangência a representação média dos valores amostrais (Figura 2), podendo ser verificada após a estabilização dos limites de controle (MONTGOMERY, 2009).

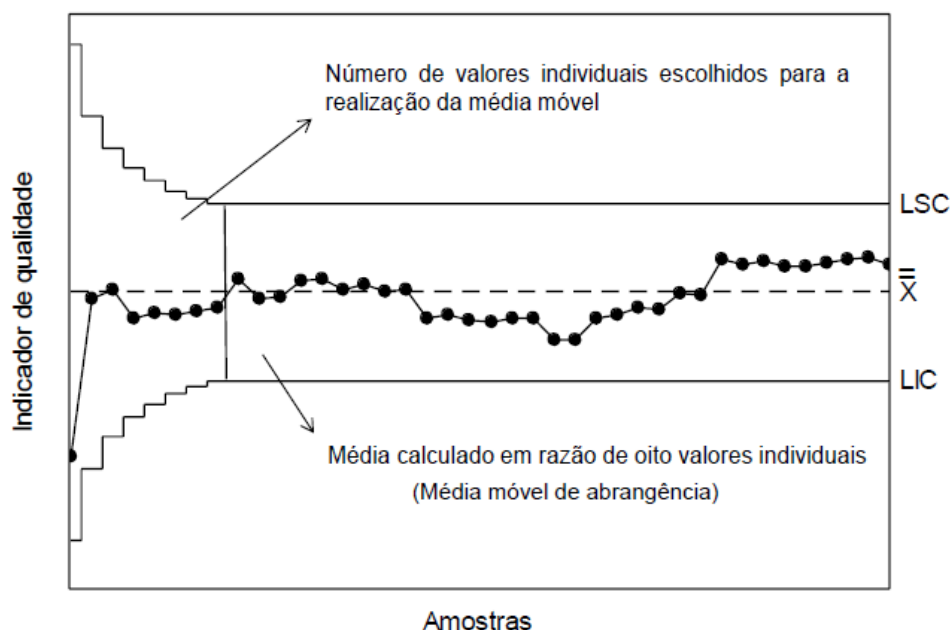


Figura 2. Modelo de carta de controle da média móvel. LSC: limite superior de controle; LIC: limite inferior de controle. \bar{x} : média estimada dos valores individuais.

Ressalta-se que os limites de controle, calculados no início do período amostral, são baseados em $\mu \pm 3\sigma/\sqrt{n}$ amostras, até atingir o valor mínimo da média móvel de abrangência. Esta condição retrata maior espaçamento entre os limites de controle, inferior (LCI) e superior (LCS), em relação ao seu estado final ou estacionário, uma vez que médias móveis calculadas abaixo do valor de abrangência, possuem alta correlação e dificultam a análise do processo (MONTGOMERY, 2009).

No entanto, esse modelo de carta de controle possui melhor capacidade para detectar pequenas variações no processo em relação à carta de Shewart ou de valores individuais, bem como para fazer a verificação da estabilidade ou instabilidade do processo (CHEN; YU, 2003). Porém, a suposição de normalidade dos dados também é exigida para este modelo de carta de controle (MONTGOMERY, 2009).

7. Índices de capacidade de processo

É o nível de uniformidade que determinado produto é capaz de reproduzir, isto é, não diz respeito a quanto o processo é satisfatório, mas o que o processo é capaz de realizar, indicando também qual é o nível real de qualidade que o processo é capaz de produzir a curto e em longo prazo (SOUZA, 2003).

Um processo considerado como capaz produz produtos ou serviços que estejam de acordo com as especificações. Partindo do princípio que o desempenho de um processo seja previsível, é possível avaliar a capacidade do processo para a produção de itens dentro das especificações (limites) e prever o número de itens fora destes limites. Em outras palavras, a faixa de variação do processo é comparada com a faixa do intervalo das especificações (MINITAB, 2007). Os índices de capacidade (C_p , C_{pk} , P_p , P_{pk} e C_{pm}) são valores sem unidade para que possamos usá-los para comparar a capacidade de diferentes processos. Muitos profissionais consideram 1,33 ser o valor mínimo aceitável para os índices de capacidade potencial do processo (C_p) e, na maioria dos casos, índice menor que 1 não é aceitável.

O valor do índice C_p (capabilidade potencial do processo) pode ser interpretado da seguinte maneira: a diferença entre os limites superior de especificação (LSE) e o limite inferior de especificação (LIE) for igual a seis vezes o valor do desvio padrão (σ), isto é, ($C_p = 1$), presume-se que aproximadamente 0,27% dos itens produzidos estarão fora dos limites de controle e por isso é considerado aceitável, e 99,73% dos resultados está dentro

dos limites de controle. Valores de C_p menores que 1,0 fazem com que o processo seja considerado como incapaz de atender à especificação; valores maiores e iguais a 1,33 são considerados adequados, isto é, o processo é capaz de atender à especificação e, processos em que o C_p está no intervalo $1,0 \leq C_p < 1,33$ considera-se o processo aceitável. Quando se calcula o índice C_p , assume-se implicitamente que o processo está centrado no valor nominal da especificação, se o mesmo não estiver na sua capacidade real será menor do que a indicada por C_p (SOUZA, 2003).

O índice C_{pk} (índice de capacidade potencial mínimo) pode ser utilizado como medida da capacidade real do decorrer do processo, pois é necessário determinar não apenas o potencial de produzir itens dentro dos limites de especificações, mas o desempenho atual de determinada linha de produção (MINITAB, 2007). Para haver maior confiabilidade desta análise, é necessário considerar o efeito da média do processo relativo ao centro da faixa de tolerância (MINITAB, 2007). Caso o processo não esteja centrado na meta, existe motivo para se preocupar. Portanto, o melhor desempenho do processo (menos itens fora dos limites de especificação) será atingido por meio da centralização do mesmo em relação à meta, ou seja, quando a média for igual à meta especificada. Em virtude deste monitoramento da centralização do processo, o índice C_{pk} foi desenvolvido para englobar o efeito da variabilidade e do desvio da média em relação ao valor nominal (SOUZA, 2003).

Para a análise da capacidade geral do processo utiliza-se o índice P_p (capabilidade geral) e P_{pk} (índice de capacidade geral mínimo) no qual os mesmo constituem-se: P_p : representa a real forma do processo, em virtude do seu comportamento dentro dos limites de especificação levando em consideração a dispersão dos valores, uma vez que o mesmo não leva em consideração a localização da média do processo; enquanto que o P_{pk} : leva em consideração a dispersão do processo em relação a localização da média. Portanto, quanto mais próximos estes índices estiverem maior é a centralização do processo (MINITAB, 2007).

Ainda de acordo com Minitab (2007) quando o valor da meta especificada é utilizado para a confecção da análise da capacidade, mais um índice é gerado o C_{pm} (índice de capacidade em relação à meta) que se refere a variação da meta a dos valores médios entre os limites de especificação, sendo importante utiliza-lo na comparação com os índices C_p e C_{pk} para inferir na centralização e na capacidade do processo.

8. Análise do modo e efeito de falhas

O método de análise do modo e efeito de falhas (*Failure Mode And Effect Analysis*) foi desenvolvido em 1950 pelo departamento de defesa americano e, posteriormente,

desenvolvido e aperfeiçoado pela NASA (Agência Espacial Norte Americana), em 1963, com a finalidade de prevenir eventuais falhas nos equipamentos ou produtos antes que elas ocorram. Em 1977, ele passou a ser utilizado pela Ford, sendo aplicado na linha de montagem para a fabricação de automóveis (FERNANDES; REBELATO, 2006).

Segundo Toledo e Amaral (2008), a análise do tipo e efeito de falha é uma ferramenta de gestão de qualidade, que pode ser aplicada em qualquer etapa do ciclo produtivo, em qualquer análise e controle de qualidade em um processo, que busca, a princípio, evitar, por meio da análise das falhas potenciais e propostas de ações de melhoria, que ocorram falhas no projeto do produto ou do processo.

A visão da qualidade busca aumentar a confiabilidade das operações ou produtos, tendo-se tornado cada vez mais importante para as equipes técnicas de qualidade, pois a falha de um produto, mesmo que rapidamente reparada pela manutenção e totalmente coberta por termos de garantia, causa, no mínimo, uma insatisfação ao consumidor ao privá-lo do uso do produto por determinado tempo (ESTORILIO; POSSO, 2009). Esta confiabilidade pode ser associada ao setor agrícola, uma vez que os produtos e serviços deste setor possuem elevada probabilidade de se apresentarem fora dos padrões de qualidade desejados, em virtude da elevada fonte externa de variação.

O método de análise do modo e efeito de falhas pode ser aplicada tanto no desenvolvimento de um projeto do produto, como na validação de seu processo. As etapas e a maneira de realização da análise são as mesmas, ambas diferenciando-se somente quanto ao objetivo. Assim, comumente, as análises FMEAs são classificadas em dois tipos (TOLEDO; AMARAL, 2008):

- *FMEA de produto*: são consideradas as falhas que poderão ocorrer com o produto, dentro das especificações do projeto. O objetivo desta análise é evitar falhas no produto ou no processo decorrentes do projeto. É comumente denominada, também, de FMEA de projeto.

- *FMEA de processo*: são consideradas as falhas no planejamento e execução do processo, ou seja, o objetivo desta análise é evitar falhas do processo, tendo como base as não conformidades do produto final com as especificações do projeto.

De acordo Stamatis (2003), o FMEA deve ser implantado no desenvolvimento inicial de projetos, produtos, componentes, serviços ou processos, devendo também ser sistemicamente monitorado durante toda a vida útil do projeto, produto, componente, serviço ou processo, visando a incrementar ou manter melhorias no desempenho das operações. Com base nessas premissas, a análise da qualidade pelo método FMEA torna-se

extremamente aplicável à análise dos indicadores de qualidade das operações agrícolas mecanizadas.

Segundo Fernandes (2005), o FMEA avalia sistematicamente a probabilidade de ocorrer e/ou evitar possíveis falhas no decorrer de um processo, por meio da severidade das falhas, e a forma de como as mesmas podem ocorrer e, caso ocorram, como eventualmente poderiam ser detectadas. Por fim, levando em consideração a severidade, ocorrência e detecção, pode-se gerar um índice de prioridade de risco, que resulta em uma lista das principais falhas decorrentes de um processo, sendo tal método aplicado em operações agrícolas mecanizadas por Barros e Milan (2010).

As diretrizes para a implantação de um sistema de análise de modo e efeito de falhas podem ser feitas da seguinte maneira:

1. Verificar modos de falha conhecidos e potenciais, em conjunto com uma equipe técnica de qualidade;
2. Determinar os efeitos de cada modo de falha e sua respectiva severidade (escalas de notas);
3. Identificar as causas possíveis para cada modo de falha e atribuir uma nota de ocorrência de falhas, em relação a cada causa;
4. Relatar o método de detecção da ocorrência do modo de falha e sua respectiva nota de detecção;
5. Avaliar o potencial de risco de cada modo de falha, por meio do índice de prioridade de risco;
6. Elaborar um plano de melhorias para a eliminação ou a redução dos riscos de falha.

Após a identificação do modo e efeito das causas de falhas que podem ocorrer no decorrer do processo, pela equipe técnica, a elaboração de um plano de controle torna-se fundamental e inter-relacionada com análise FMEA. O plano de controle a ser elaborado possui suas bases no ciclo de Deming ou PDCA (*p-plan; d-do; c-check; a-action*), após a análise, interpretação e entendimento das etapas do processo produtivo por meio de fluxogramas específicos (TOLEDO; AMARAL, 2008).

9. Aplicações das ferramentas de controle estatístico de processo da agricultura

A carta de controle, ferramenta precursora do controle estatístico de qualidade, apresentada por Walter Shewhart em 1924, é indiscutivelmente a ferramenta estatística mais importante dos sistemas de controle e melhoria da qualidade em qualquer sistema

produtivo que possui por finalidade atender as necessidades dos clientes. O conceito das cartas de Shewhart é simples, pois, se o processo é monitorado frequentemente, seu comportamento será potencialmente conhecido, tornando-se fácil identificar quando o mesmo está instável e para identificar a estabilidade ou a instabilidade, propôs as cartas de controle com base nos desvios padrão da média.

No entanto, com o passar dos anos, estudos sobre as técnicas do controle estatístico de processo foram detalhadas pela Western Electric Company (1956) na qual, critérios foram determinados para a sua linha de produção e validação dos seus itens. Neste estudo, o foco principal do CEQ era associar às informações gráficas, detecção dos problemas e sua fonte de variação, com as possíveis melhorias cabíveis a linha de produção para aumentar a qualidade dos itens produzidos como forma de maximizar os lucros da corporação.

Com base nessa premissa o uso do controle estatístico de qualidade é comumente utilizado na área industrial na verificação e validação das peças produzidas, e se estas atendem aos padrões de qualidade a custos aceitáveis, e a quantidade de itens não conformes produzidos que irá para o sucateamento, o que certamente possuirá consequências nos custos de produção (BROH, 1974 apud SAMOBYL, 2009), sendo, portanto, utilizada até os dias atuais. Nos últimos anos houve uma expansão da utilização do controle estatístico de processo nas áreas de saúde, laboratoriais, indústrias alimentícias e, por fim, em operações agrícolas.

Nos ciclos que envolvem as operações agrícolas, podendo envolver toda e qualquer etapa da cadeia produtiva, pode-se citar que os primeiros autores a tratarem desse assunto associando o CEQ em suas atividades rotineiras foram Kramer e Twigg (1966). Estes autores desenvolveram fundamentos sobre o uso do controle estatístico de processo para o monitoramento da qualidade dos produtos agrícolas que chegavam até a indústria de processamento, nos EUA, e quando detectados produtos que não atendiam a necessidade dos clientes os mesmo eram descartados.

Com base nesses fundamentos, Kramer e Twigg (1970) definiram padrões de qualidade para determinados lotes de matéria prima que chegavam à indústria, concluindo que o monitoramento traz incrementos na qualidade dos produtos a serem levados ao cliente o que, conseqüentemente, possui maior valor agregado. Aprimorando cada vez mais a utilização das ferramentas do controle estatístico de qualidade na indústria alimentar Bender, Kramer e Kahan (1976) desenvolvem métodos de análises para alimentos, utilizando às cartas de controle para possíveis diagnósticos de produtos não conformes aos padrões de qualidade da indústria de processamento e as necessidades dos consumidores.

Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola

Neste contexto, Bender, Douglas e Kramer (1982) descrevem a importância da análise de alimentos e dos métodos estatísticos utilizados para suas análises, sendo que, quando se deseja obter níveis elevados de qualidade o uso do CEQ é fundamental. Bender, Douglas e Kramer (1989) reafirmam o conceito de que os níveis de qualidade em determinados alimentos é essencial para a aquisição destes produtos pelos consumidores, podendo se fazer o monitoramento da qualidade destes produtos por meio da utilização das ferramentas do CEQ.

Com base neste início possível de inserção do CEQ na agricultura, para o monitoramento, verificação da qualidade dos produtos colhidos a campo, e sendo por fim, avaliados quando levados a indústria de processamento nos EUA, Rodrigues e Amorim (1995) investigaram os usos das técnicas de qualidade nas organizações brasileiras e tal estudo pode ser levado às empresas privadas e públicas dos setores industriais, laboratoriais, alimentício, saúde e principalmente para a área das operações agrícolas, sendo este último fator fundamental para a produção de alimentos. Os autores concluíram que poucos pesquisadores conheciam as ferramentas de monitoramento da qualidade proporcionadas pelo CEQ e as empresas que faziam uso destas ainda não tinham padrões de qualidade a serem seguidos e não tornavam as análises em decisões para a melhoria da qualidade.

Neste contexto de incipiência de usos de técnicas de controle de qualidade nas operações agrícolas no Brasil, Soffner, Milan e Rípoli (1993) estudaram o gerenciamento das operações agrícolas por meio de programação linear e relataram que o gerenciamento eficaz da maquinaria agrícola tende a maximizar os lucros das atividades agrícolas, bem como a melhor qualidade das operações desempenhadas e pleno desenvolvimento da cultura. Os autores ainda relataram que a utilização do controle de qualidade para as operações agrícolas é fundamental para se obter melhor gerenciamento dos ciclos de operações. Trindade (1993) desenvolveu um sistema de controle qualidade para as operações agrícolas florestais, na qual obtiveram resultados satisfatórios por meio da utilização das cartas de controles e demais ferramentas do CEQ para aumentar a eficiência do gerenciamento das operações.

Bonilla (1994; 1995) descreve que a utilização do controle estatístico de qualidade, nas operações agrícolas mecanizadas é essencial para redução da variabilidade elevada, podendo tornar o processo estável quando o mesmo não apresenta este comportamento. Peche Filho (1994) adotaram as ferramentas do CEQ para o monitoramento do grau de picagem de material orgânico, para posterior desenvolvimento de uma metodologia para tal

operação, e constataram que a redução da variabilidade decorrente desta operação incrementa os níveis de qualidade.

Neste contexto, Lopes, Milan e Coelho (1995) visando contribuir com a inserção do CEQ nos ciclos das operações agrícolas mecanizadas na cultura da cana-de-açúcar, relataram que por meio do monitoramento da qualidade em que as operações estavam sendo desempenhadas houve elevada variabilidade dos resultados. Tal variabilidade para o espaçamento entre sulcos pode ter levado ao processo ser instável, sugerindo, portanto, melhorias na regulagem do implemento e da operação efetuada. Por outro lado, Pasqua et al. (1996) utilizaram as ferramentas do CEQ para o monitoramento dos ciclos das operações mecanizadas na cultura do milho, estabelecendo indicadores de qualidade para a semeadura, adubação de cobertura e pulverização, sendo avaliados pelas cartas de controle.

Milan (1998) descreve que a adoção de sistemas de gerenciamento e suas técnicas propiciam o aumento da competitividade na área agrícola, permitindo melhorar a qualidade e potencialmente a redução de custos. Portanto, controle de qualidade, que visa o monitoramento contínuo do desempenho dos processos, é uma técnica aplicada há longo tempo na indústria e na prestação de serviços e que deverá ser adotada cada vez mais para a agricultura, de forma a aumentar a qualidade das operações agrícolas mecanizadas. O autor ainda relata que o emprego de técnicas de qualidade proporcionam melhorias das operações, mas que talvez, essas melhorias podem ser sentidas de maneira mais substancial ao longo dos anos de utilização do CEQ (programa de melhoria da qualidade), pois, assim se cria o hábito de monitorar frequentemente as operações, podendo esta descrição ser comparada ao estilo japonês de implantação do CEQ.

Tomando com premissa de implementação de um programa de melhorias da qualidade das operações agrícolas mecanizadas descritas por Milan (1998), vários autores a partir de então começaram a utilizar as ferramentas do CEQ para o monitoramento, detecção de causas especiais, interferindo no processo e posteriormente elaborando planos de melhorias para aumentar a qualidade das mesmas, por meio da redução da variabilidade decorrente do processo.

Fernandes, Milan e Peche Filho (2000) propõem um gerenciamento da qualidade para as operações agrícolas mecanizadas no sistema de produção e cana-de-açúcar, e descrevem que a qualidade destas operações pode ser observada por dois lados: sendo o primeiro o lado econômico, na qual, a qualidade é a produção de itens aos custos compatíveis com a referida atividade e segundo volta-se para o lado agrônomo, em que a

qualidade se refere à realização de produtos ou serviços dentro dos limites de especificações ou de qualidade imposto pela unidade produtoras.

De acordo com Milan e Fernandes (2002) a avaliação da qualidade das operações de preparo de solo, escarificação e gradagem, por meio do controle estatístico de processo, se mostrou eficiente para aumentar a qualidade das operações desempenhadas nestes sistemas de preparo de solo por meio do plano de melhoria efetuados e posteriormente executado e isto só foi possível em virtude da redução da variabilidade decorrente da operação.

Milan, Barros e Gava (2003) avaliou o planejamento do preparo do solo por meio do desdobramento da função qualidade (QFD)) para a implantação de mudas de eucalipto, e concluíram que os indicadores de qualidade largura e profundidade do sulco e tamanho dos torrões são os mais importantes para atender o melhor desenvolvimento das mudas. O autor ainda descreve, que o uso do QFD no setor florestal bem como na área agrícola é uma técnica eficaz para identificar e traduzir os fatores limitantes das operações agrícolas.

Souza (2005) descreve uma metodologia para avaliar a qualidade da operação da semeadura direta em sistema de produção de milho, na qual, continha seis etapas, dentre elas: caracterização, pesquisa bibliográfica, seleção dos indicadores de qualidade, coleta dos dados a campo, análise dos dados e criação do índice de cada indicador de qualidade.

Segundo Nagumo e Milan (2006) as cartas de controle bem como o uso de histogramas, podem ser utilizados para análise dos indicadores críticos de qualidade das características exigidas pelos clientes na produção de mudas de café enxertadas e comercializadas em tubetes plásticos, bem como demais padrões de qualidade relacionados ao ciclo de produção das mudas.

Silveira, Peche Filho e Storino (2007) em estudo realizado avaliando a qualidade das operações desempenhadas pela velocidade de trabalho do trator em operações de pulverização, adubação e roçadora no cultivo de café, relataram que o monitoramento da velocidade de trabalho ao longo da operação não sofreu intensa variação. Portanto, estas operações podem ser realizadas com certo nível de qualidade, sendo o uso das cartas de controle, dentre as ferramenta da qualidade, eficiente no gerenciamento das operações agrícolas na lavoura cafeeira.

Avaliando o desempenho de um dispositivo de corte de base de colhedoras de cana-de-açúcar Salvi, Matos e Milan (2007) utilizaram as cartas de controle para o monitoramento da altura de corte, e constataram que, com e sem o uso do dispositivo automático de controle da altura de corte, o processo é instável, não mantendo o padrão médio da altura

de corte especificada pela unidade produtora, havendo influências também da idade e porte do canavial.

Suguisawa et al. (2007) utilizaram as cartas de controle estatístico de processo para avaliar a qualidade da aplicação de herbicidas em lavoura de trigo e constataram que o seu uso torna-se importante para o monitoramento e aumento da qualidade da operação uma vez que a mesma foi irregular ao longo do tempo. Porém, em função do herbicida ser sistêmico considerou-se a qualidade de aplicação como média.

Em avaliação das caracterizações das perdas e distribuições de cobertura vegetal durante a colheita mecanizada de soja, Toledo et al. (2008) afirmaram a eficiência da utilização das cartas de controle para a identificação da instabilidade decorrente do processo de colheita uma vez que as perdas e cobertura vegetal foram consideradas instáveis e estáveis, respectivamente, sob a óptica do CEQ.

Peloia, Milan e Romanelli (2010) utilizaram como ferramentas do CEQ as cartas de controle e a análise da capacidade do processo para o corte de rebolos de cana-de-açúcar colhidos mecanicamente, e chegaram à conclusão de que, em função da estabilidade do processo diagnosticado pelas cartas de controle, foram realizadas os gráficos de capacidade na qual o processo foi determinado como incapaz de atingir resultados satisfatórios em curto e longo prazo tanto para cana queimada quanto para cana crua.

Avaliando o processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar em função dos turnos de operação diurno e noturno, Noronha et al. (2011) utilizaram as cartas de controle para monitoramento do processo no qual constataram a instabilidade do processo para as perdas pedaço fixo, solto, cana inteira durante o período diurno e estilhaço em ambos os turno de operação, e a estabilidade do mesmo para as perdas tipo toco e rebolo repicado e estilhaçado, em ambos os turno de operação.

Reis et al. (2010) estudaram a qualidade da aplicação aérea líquida por uma aeronave experimental na cultura da soja, e relataram que os seus indicadores de qualidade (diâmetro da mediana volumétrica e amplitude relativa do espectro de gotas, e a qualidade da aplicação no terço médio inferior das plantas) foram detectados com pontos ou observações fora dos limites de controle, o que caracteriza a instabilidade apresentada para esta operação.

A utilização do método FMEA (*Failure mode and effect analysis* ou Análise de modo e efeitos de falha) foi usado para a identificação dos fatores críticos e a análise do processo para a sua melhoria contínua no plantio mecanizado de cana-de-açúcar (BARROS e MILAN, 2010). Os autores descreveram 16 fatores críticos nos quais, apenas dois (paralelismo entre

sulcos e profundidade de sulcos) foram considerados como não previsível, indicando causas especiais no decorrer da operação e concluem que a elaboração do plano de melhoria é fundamental para aumentar a quantidade de pontos dentro dos limites de controle.

De acordo com Chioderoli et al. (2012) avaliando a perda de grãos e distribuição de palha na colheita mecanizada de soja utilizando como ferramentas do CEQ as cartas de controle de valores individuais e de amplitude móvel, constataram que todos os tipos de perdas avaliadas (perdas nos sistemas de trilha e de limpeza e as totais) estavam fora dos limites de controle. Porém, dentro dos níveis aceitáveis de perdas para a cultura bem como para a distribuição de palha pela máquina.

Compagnon et al. (2012) avaliaram diferentes métodos de amostragens de perdas na colheita mecanizada de soja, sendo um deles à campo (utilizando-se armação de 2 m²) e outro por meio do monitor de perdas alocado dentro da cabine da colhedora nos períodos diurno e noturno da operação, constataram a instabilidade do processo para as perdas nos sistemas de corte, separação, perdas de grãos limpos e totais durante o período diurno da operação de colheita de soja.

Por outro lado, Silva et al. (2013) estudaram a qualidade da colheita mecanizada de feijão em dois sistemas de preparo do solo, e concluíram que, tanto no sistema de preparo convencional como no sistema de plantio direto, os indicadores de qualidade que se apresentaram como instáveis foram o consumo horário de combustível e a produção de matéria seca sob a óptica do CEQ.

Em avaliação da qualidade da colheita mecanizada de café em sistema de plantio circular Cassia et al. (2013) por meio da utilização das cartas de controle, constataram a elevada variabilidade decorrente do processo de perdas e dos danos causados às plantas. Porém, os pontos amostrais permaneceram dentro dos limites de controle, considerando o processo como estável.