

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

GABRIELA MAURIEN RODRIGUES

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS GRÁFICOS DE OBSERVAÇÕES
INDIVIDUAIS NO CONTROLE DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO
CARBONO DE LIGAS ESPECIAIS EM UM PROCESSO DE
FUNDIÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2016

GABRIELA MAURIEN RODRIGUES

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS GRÁFICOS DE OBSERVAÇÕES
INDIVIDUAIS NO CONTROLE DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO
CARBONO DE LIGAS ESPECIAIS EM UM PROCESSO DE
FUNDIÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção, do Departamento de Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Evandro Eduardo Broday

PONTA GROSSA

2016

	<p>Ministério da Educação UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ CÂMPUS PONTA GROSSA Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção</p>	 <p>UFGPR UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ</p>
-----------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

TERMO DE APROVAÇÃO DE TCC

Análise de desempenho dos gráficos de observações individuais no controle da composição química do carbono de ligas especiais em um processo de fundição

por

Gabriela Maurien Rodrigues

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 29 de Agosto de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Dr. Evandro Eduardo Broday
Prof.
Prof. Orientador

Dr^a Joseane Pontes
Prof.
Membro titular

Dr. Gerson Ishikawa
Prof.
Membro titular

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso (ou Programa)”.

AGRADECIMENTOS

É difícil agradecer todas as pessoas que de algum modo, se fizeram presente nos momentos da graduação e principalmente na elaboração deste trabalho.

Ao meu pai, pela determinação e pela oportunidade do estudo, e à minha mãe que não mediu esforços para que eu chegasse até aqui, se fazendo presente em todas as etapas da minha vida. A minha irmã, pela compreensão nos momentos de ausência e por me fazer entender que o futuro é feito a partir da dedicação no presente.

Aos professores desta instituição envolvidos direta e indiretamente na elaboração deste trabalho e na minha formação de caráter pessoal e profissional, em especial ao meu orientador, Prof. Evandro Broday, pelo total suporte na elaboração do trabalho, e pela confiança.

Aos meus amigos, que foram pessoas fundamentais e estiveram comigo em todos os momentos desta fase que se encerra, e na elaboração do trabalho nas horas de tensão e dedicação, foram pacientes, me incentivando a sempre continuar e nunca a desistir.

Por fim, agradeço a Deus, por me proporcionar a vida, uma família maravilhosa e amigos sensacionais. Por estar sempre presente, guiando o meu coração, iluminando e abençoando os meus passos, sem Ele essa trajetória não seria possível.

RESUMO

RODRIGUES, Gabriela Maurien. **Análise de desempenho dos gráficos de observações individuais no controle da composição química do carbono de ligas especiais em um processo de fundição**. 2016. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2016.

Este estudo analisou o desempenho dos gráficos de observações individuais no controle da composição química do carbono de ligas especiais em um processo de fundição, em virtude de que os deslocamentos que ocorrem na média do processo são difíceis de serem detectados. O objetivo é verificar a melhoria obtida no poder de detecção do gráfico de controle de valores individuais através da alteração de sua largura. Para atingir este objetivo foi necessário confirmar a normalidade dos dados, alterar a largura do gráfico de controle de valores individuais e verificar a melhoria no Comprimento Médio da Sequência. O estudo foi desenvolvido com embasamento teórico nos principais autores do assunto e com revisão literária do histórico da qualidade; controle estatístico de processo e análise de desempenho do gráfico de controle. A metodologia da pesquisa é classificada como pesquisa aplicada de cunho exploratório, e por fim um estudo de caso. Através da análise de desempenho dos gráficos de observações individuais, foi visto que ao diminuir a largura do gráfico é possível detectar deslocamento na média do processo com um menor número de amostras.

Palavras-chave: CEP, Gráfico de Controle de Medidas Individuais, Comprimento Médio da Sequência.

ABSTRACT

RODRIGUES, Gabriela Maurien. **Performance analyses of individuals observations control charts in the control of Carbon chemical composition in special alloys of a casting process.** 2016. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Federal Technology University - Parana. Ponta Grossa, 2016.

This study analysed the performance of individual observations graphs in control of the carbon chemical composition of the particular alloy in a casting process. Due to the fact that the displacements that occur in the middle of the process are difficult to detect. It aims to verify the improvement obtained in the detection power of the individual values of control chart by changing to its width. To achieve this goal it was necessary to confirm the normality of the data change, the width changes of the individual values of control chart and verify the improvement in the Average Run Length. The study was developed with theoretical basis in the main authors of the subject and literature review of the quality history; statistical process control and control chart performance analysis. The research methodology is classified as exploratory applied research and finally a case study. Through the performance graphs' analysis of individual observations, it was observed that the decrease of the chart width, it is possible detect the displacement on the process average with less samples.

Keywords: SPC. Individuals Observations Control Chart. Average Run Length.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração do Gráfico de Pareto.....	20
Figura 2 - Exemplo Diagrama de Ishikawa.....	21
Figura 3 - Gráfico de Controle.....	24
Figura 4 - Fluxograma para facilitar na escolha do gráfico à ser utilizado.....	25
Figura 5 - Gráfico de variação do desvio do valor nominal (1).....	34
Figura 6 - Gráfico de variação do desvio do valor nominal (2).....	34
Figura 7 - Gráfico de variação do desvio do valor nominal (3).....	34
Figura 8 - Gráfico de variação do desvio do valor nominal (4).....	35
Figura 9 - Probabilidade da distribuição.....	35
Figura 10 - Representação da função densidade de probabilidades para um processo 3σ evoluindo para um padrão 6σ sujeito a pequenas oscilações na média.....	37
Figura 11 - Representação da função densidade de probabilidades para um processo com padrão 6σ que foi deslocado $+1,5\sigma$ do valor nominal.....	38
Figura 12 – Possíveis resultados de um teste de hipótese.....	40
Figura 13 – Curvas CO para o gráfico \bar{X} com limite 3-sigmas.....	41
Figura 14 – Fluxograma da verificação das melhorias obtidas.....	48
Figura 15 – Gráfico de controle para medidas individuais do Carbono – bloco 1.....	51
Figura 16 – Gráfico das variáveis individuais com $L=2,5$ – bloco 1.....	54
Figura 17 – Gráfico das variáveis individuais com $L=2$ – bloco 1.....	55
Figura 18 – Gráfico de controle para medidas individuais do Carbono – bloco 2.....	56
Figura 19 – Gráfico das variáveis individuais com $L=2,5$ – bloco 2.....	58
Figura 20 – Gráfico das variáveis individuais com $L=2$ – bloco 2.....	59
Figura 21 – Curva característica de operação.....	61
Figura 22 – Gráfico de CMS.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação do processo com respeito a sua capacidade	33
Tabela 2 – Valores dos Índices de capacidades e quantidade de defeitos PPM, pressupondo processo centrado, estabilidade e distribuição normal	38
Tabela 3 – Valores dos Índices de capacidades e quantidade de defeitos PPM, pressupondo processo desviado $+1,5 \sigma$, estabilidade e distribuição normal.....	39
Tabela 4 – Tabela de comparação entre os valores de k e L para os dois blocos de dados	42
Tabela 5 – Teste de Kolmogorov-Smirnov da % de C da liga E2535 – bloco 1.....	47
Tabela 6 – Teste de Kolmogorov-Smirnov da % de C da liga E2535 – bloco 2.....	48
Tabela 7 – Dados referentes à L=3 do bloco 1	50
Tabela 8 – Dados referentes à L=2,5 do bloco 1	51
Tabela 9 – Dados referentes à L=2 do bloco 1	52
Tabela 10 – Dados referentes à L=3 do bloco 2	54
Tabela 11 – Dados referentes à L=2,5 do bloco 2	55
Tabela 12 – Dados referentes à L=2 do bloco 2	55
Tabela 13 – Tabela do comprimento médio da sequência conforme tamanho do deslocamento no gráfico de controle das observações individuais com limite de três-sigmas.....	56

LISTA DE SIGLAS

ARL	<i>Average Run Length</i>
CCO	Curva Característica de Operação
CEP	Controle Estatístico do Processo
CMS	Comprimento Médio da Sequência
DMAIC	<i>Define, Measure, Analyse, Improve, Control</i>
LIC	Limite Inferior de Controle
LSC	Limite Superior de Controle
LSE	Limite Superior de Especificação
LIE	Limite Inferior de Especificação
PPM	Partes Por Milhão
PAFC	Plano de Ação Fora de Controle
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i>
TQC	<i>Total Quality Control</i>
TQM	<i>Total Quality Management</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 PROBLEMA	12
1.2 JUSTIFICATIVA	12
1.3 OBJETIVO GERAL	13
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.5 DELIMITAÇÃO DO TEMA	14
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 EVOLUÇÃO HISTÓRICA	16
2.2 FERRAMENTAS DA QUALIDADE	19
2.2.1 Estratificação	19
2.2.2 Folha de Verificação	19
2.2.3 Diagrama de Pareto	20
2.2.4 Diagrama de Causa e Efeito	20
2.2.5 Histograma	21
2.2.6 Diagrama de Dispersão	21
2.2.7 Gráfico de Controle	21
2.3 CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS	22
2.3.1 Gráficos de Controle	23
2.3.2 Gráficos por atributos	26
2.3.2.1 Gráfico de controle p	26
2.3.2.2 Gráfico c	27
2.3.2.3 Gráfico u	28
2.3.2.4 Gráfico np	29
2.3.3 Gráficos por Variáveis	29
2.3.3.1 Gráfico de controle da média e amplitude	30
2.3.3.2 Gráfico de controle da média e desvio padrão	31
2.3.3.3 Gráfico de controle de medidas individuais	31
2.3.4 Avaliação da Capacidade do Processo	32
2.3.5 Importância do CEP para Obtenção da Excelência Operacional Seis Sigma	36
2.4 ANÁLISE DO DESEMPENHO DO GRÁFICO DE CONTROLE	39
3 METODOLOGIA	44
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	44
3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS DE INFLUÊNCIA	44
3.3 DESCRIÇÃO DO AMBIENTE DE COLETA DE DADOS	45
3.4 ANÁLISE DE DESEMPENHO DO GRÁFICO DE CONTROLE	46
3.5 VERIFICAÇÃO DE MELHORIAS	48
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	49

5 CONCLUSÃO	63
6 REFERÊNCIAS	66
ANEXO A - FATORES PARA A CONSTRUÇÃO DO GRÁFICO DE CONTROLE PARA VARIÁVEIS	69
ANEXO B - TABELA DE DISTRIBUIÇÃO NORMAL PADRÃO	71
APÊNDICE A – TABELA DOS DADOS COLETADOS – bloco 1	73
APÊNDICE B – TABELA DOS DADOS COLETADOS – bloco 2	75

1 INTRODUÇÃO

Com o crescente desenvolvimento tecnológico há uma acirrada competição entre as organizações na busca em atender às necessidades do mercado e dos clientes. Isto reflete diretamente na qualidade de seus produtos, sendo este um fator não mais de vantagem competitiva, mas de exigência deste mercado.

A qualidade sempre esteve presente nos produtos e processos produtivos. Com o passar dos anos houve a evolução da qualidade de acordo com as quatro Eras da Qualidade.

Sendo assim, inicia o gerenciamento da qualidade, envolvendo comprometimento da alta gerência, fornecedores e colaboradores da empresa, evitando que a qualidade seja inspecionada apenas no final do processo, mas sim durante e juntamente com o processo produtivo, por meio de análise e melhoria dos processos de trabalho, baseando-se na qualidade definida pelas exigências do mercado e do cliente.

Com isso tem-se um avanço no processo por meio do controle total da qualidade, mas ainda assim existe o problema da variabilidade no processo, ou seja, quando há uma oscilação em torno da média ou do ponto ideal da especificação, precisando de um monitoramento constante do comportamento da produção. Por meio de análise dos dados coletados e caracterização da causa da instabilidade e/ou variabilidade do sistema, utilizam-se as Cartas de Controle, ferramentas do Controle Estatístico do Processo (CEP), e como resultado obtem-se uma melhoria contínua do processo produtivo.

Com o gerenciamento da qualidade e a utilização do CEP é plausível a redução dos custos por meio da diminuição do retrabalho, ou seja, eliminação dos custos de falha interna e externa, e conseqüentemente o aumento da qualidade e produtividade da empresa, atingindo assim todos os setores nela envolvidos e a plena satisfação dos clientes.

Para garantir que tudo isso ocorra, a Engenharia de Produção auxilia na padronização das metodologias a serem utilizadas, na otimização dos recursos e na racionalização de custos. Visto que seus profissionais possuem uma visão sistêmica do processo. Sendo assim, é possível que o profissional encontre as falhas no processo com o auxílio das ferramentas da qualidade, que neste caso será o gráfico de controle de medidas individuais.

Os deslocamentos que ocorrem na média do processo são difíceis de serem detectados nos gráficos de controle de valores individuais porque os valores de comprimento médio da sequência são elevados, o que ocasiona um grande tempo de produção não conforme.

Faz-se importante ressaltar qual a habilidade do gráfico de controle em detectar pequenos deslocamentos de desvio padrão e assim verificar quantas amostras são necessárias para se detectar um deslocamento na média do processo, por meio do Comprimento Médio da Sequência.

Neste estudo, será analisada a habilidade do gráfico de observações individuais em detectar pequenos deslocamentos de desvio padrão nas porcentagens de Carbono da liga E2535Nb-MA, em um processo de fundição.

Dessa forma, o objetivo geral deste trabalho é verificar a melhoria obtida no poder de detecção do gráfico de controle de valores individuais através da alteração de sua largura.

Portanto, será proposta uma metodologia com embasamento bibliográfico que terá como abordagem a pesquisa qualitativa, posteriormente será realizada uma coleta de dados na empresa, transformando a análise em estudo de caso.

1.1 PROBLEMA

Qual é o efeito de alterar os limites de controle do gráfico de observações individuais para detectar pequenos deslocamentos em unidades de desvio padrão na análise química do Carbono de um processo de fundição?

1.2 JUSTIFICATIVA

Devido à competição entre as empresas por custo, qualidade e tempo de produção, vê-se a necessidade de fabricar um produto com baixo custo, alta qualidade e pouco tempo para obter esse resultado.

Faz-se importante analisar a habilidade do gráfico de controle em detectar pequenos deslocamentos de desvio padrão no processo, pois estes alteram a média do processo, fazendo com que a produção se afaste do valor alvo. Ou seja, com esta análise é possível obter melhorias no processo.

Neste estudo será realizada esta análise do comportamento carbono em ligas especiais, e ao estreitar os limites de controle do gráfico, espera-se que a habilidade em detectar deslocamentos na média dos processos seja melhorada. Com isso, será possível identificar problemas na variação do processo com um menor número de amostras (MONTGOMERY, 2009).

Isto visto é feita a aplicação de valores reais da porcentagem do carbono da liga E2535-Nb-MA na teoria, demonstrando a teoria na prática e afirmando a eficiência do gráfico de observações individuais em detectar pequenos deslocamentos.

Sendo assim, é uma contribuição para as empresas, por ter como consequência, a minimização da variabilidade encontrada no processo, que acarretará na redução dos desperdícios, custos, tempo de produção e um aumento da qualidade do produto, devido ao menor tempo para encontrar não-conformidades.

O estudo do CEP e a aplicação de suas ferramentas é um processo complexo, devido ao fato de que deve ser adaptado para cada tipo de empresa, e também porque deve ser levado em consideração o fator humano, pois as pessoas estão diretamente ligadas à esta aplicação (Chiavenato, 2011). Deste modo, muitas vezes, a utilização destas ferramentas é ignorada nos processos produtivos.

Baseando-se neste estudo pode-se identificar melhorias obtidas no poder de detecção do gráfico de controle através da alteração de sua largura, por meio da melhoria no Comprimento Médio da Sequência.

1.3 OBJETIVO GERAL

Verificar, através da análise de desempenho, a melhoria obtida no poder de detecção do gráfico de controle de valores individuais.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar o processo produtivo da empresa;
- Coletar os dados da análise química do carbono;
- Confirmar a normalidade dos dados, para aplicação do gráfico de controle de valores individuais;

- Alterar a largura do gráfico de controle de valores individuais;
- Verificar a melhoria no Comprimento Médio da Sequência do gráfico de controle para observações individuais;
- Constatar a aplicação da teoria na prática.

1.5 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Foi realizado o controle estatístico de processo em uma empresa de fundição, a qual fabrica ligas especiais, dentro as quais aços refratários e aços resistentes à fluência, que possuem um bom desempenho ao serem utilizados em altas temperaturas (acima de 700 – 750°C) sem sofrer grandes alterações em suas propriedades físico-químicas, e possuem o cromo e níquel como principais elementos de liga.

O controle estatístico de processo da empresa é feito nas análises químicas e nos ensaios mecânicos. Neste estudo, foi escolhida a análise química devido a sua maior relevância, uma vez que é feito um balanceamento químico para garantir que os mecanismos de falha sejam minimizados na temperatura de aplicação. Consideram-se mecanismos de falha: a fluência e a carburização.

Dentre várias ligas desenvolvidas na empresa, este estudo foi baseado na liga E2535Nb-Ma, sendo este o nome proprietário, tratando-se da liga mais refinada em desenvolvimento no mundo todo e atualmente é o carro chefe na produção da empresa.

Esta liga é composta por diferentes porcentagens de níquel, cromo, silício, nióbio, manganês, carbono, molibdênio, cobre, fósforo, estanho, alumínio, tungstênio, chumbo, zinco, nitrogênio, enxofre e antimônio. Mas, o estudo será realizado com base no carbono que um dos elementos de liga, sendo responsável pela formação dos carbeto.

Os dados foram coletados em dois blocos de amostras, o primeiro refere-se aos meses de janeiro, fevereiro e março, e o segundo à abril, maio e junho de 2016. Observa-se que a quantidade de dados difere entre os blocos, o que é explicado pela quantidade de pedidos do material no período em estudo.

Para a empresa, o número da corrida é a rastreabilidade do material, mas neste estudo cada corrida equivale a uma amostra. Sendo assim, a quantidade de amostras retiradas no período depende da demanda referente àquele material.

Esta pesquisa utilizou o gráfico de controle para medidas individuais, com $n=1$, que utiliza a amplitude móvel dos dados. Mesmo sabendo da existência do gráfico de soma cumulativa e de média móvel exponencialmente ponderada, foi escolhido este gráfico de medidas individuais devido à sua aplicação em indústrias que controlam elementos químicos e também à simplicidade de uso.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Nesta seção foi apresentado o Capítulo 1, sendo composto pela Introdução, problema, justificativa, objetivos geral e específico e o tema foi delimitado.

No Capítulo 2, será apresentado o conteúdo do trabalho, começando pela Fundamentação Teórica, que apresenta a evolução histórica da qualidade, passando pelas Eras, pelos Gurus e pelas Ferramentas da Qualidade, os quais são responsáveis pela organização, controle, tomadas de decisão e pelo avanço desta área.

Então, o Controle Estatístico do Processo, sendo uma das ferramentas e, com o auxílio dos autores da área, são apresentadas as ferramentas utilizadas no CEP, que são os Gráficos de Controle, podendo ser utilizado de acordo com o tipo de dado a ser analisado, por variáveis ou por atributos.

Tem-se a importância do CEP para a obtenção da excelência operacional em Six-Sigma, e a habilidade do gráfico em detectar pequenos deslocamentos, com a descrição dos tipos de erros que podem ocorrer neste processo, sendo eles do tipo I ou do tipo II.

Na Metodologia, Capítulo 3, será exposta a classificação da pesquisa, o ambiente de estudo, o modo como foram obtidos os dados, realizados os cálculos para se obter os resultados e como foram obtidas as melhorias.

Será, também, apresentado no Capítulo 4, a análise e discussão dos dados e no Capítulo 5, as considerações finais, neste caso a eficácia em estreitar os limites do gráfico de controle.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 EVOLUÇÃO HISTÓRICA

Durante a Revolução Industrial, na Inglaterra, houve a transição do método artesanal para o assalariado com o uso de máquinas, onde teve a substituição da customização pela padronização e produção em larga escala, com a manufatura organizada. Como não havia o conceito de controle da qualidade, a inspeção era feita no produto final e não no processo (BUZZELL e GALE, 1991).

Com isso, no início do século XX, a produção começou a se fragmentar, e cada trabalhador possuía o domínio de apenas uma parte do processo. Eles se especializam como no modelo de Ford e Taylor, onde surge a função de inspetor, como uma atividade formal e funcional da fábrica. Dando início, à inspeção da qualidade no produto final, a primeira Era da qualidade (GARVIN, 1992).

Entre as décadas de 30 e 40, com a Segunda Guerra Mundial, houve a necessidade de produzir rápido e em larga escala. Com isso inicia-se a segunda era da qualidade com o desenvolvimento de métodos estatísticos por Shewhart, por meio da inspeção utilizando os métodos estatísticos, a inspeção por amostragem e os gráficos de controle, fundindo o conceito de estatística à realidade produtiva das empresas (SELEME, STADLER, 2008)

A terceira era da qualidade inicia-se na década de 50 nos Estados Unidos, com o controle da qualidade total, sendo a Era da Garantia da Qualidade, com inspeção de recebimento, processo, produto acabado e detecção de não conformidades, juntamente com o conceito de custos da qualidade e confiabilidade (MARTINS, 1998).

Nessa época, Feigenbaum introduziu o termo Controle Total da Qualidade (TQC), onde a qualidade está envolvida em todas as fases de elaboração de um produto, desde o projeto até o produto chegar ao consumidor. No TQC, todas as áreas da empresa estavam envolvidas com a qualidade do processo como um todo, agrupando todas as funções para atender às necessidades do cliente, havendo uma abordagem sistêmica ou total da qualidade (FEIGENBAUM, 1986 e 1994).

Em meados dos anos 80, com maior exigência pela qualidade por parte do cliente, surgem os sistemas de garantia da qualidade, controles de detecção,

correção, eliminação e prevenção de não conformidade, realização de experimentos e treinamentos nessa área (OLIVEIRA, 2003).

Houve a evolução dos princípios do termo TQC, para os princípios do termo de Gerenciamento Total da Qualidade, Total Quality Management (TQM), também desenvolvido por Feigenbaum. O TQM envolve todos os setores da empresa, por meio de uma abordagem sistêmica da qualidade, como sendo uma nova filosofia de gestão baseada em um conjunto de princípios, sistemas e ferramentas (FERNANDES, 1996).

Após os anos 90, os sistemas começam a interagir e as empresas fazem treinamentos para qualidade em todos os setores. A utilização das ferramentas fica mais intensa e o uso do conceito de TQM é aplicado e aprimorado pelas empresas. A partir de então, os conceitos da qualidade desenvolvidos pelos gurus foram empregados com maior abrangência visando à satisfação dos clientes.

Sendo assim, W. Edwards Deming direciona a qualidade para a estatística com base em análises das causas da variabilidade no processo, baseado na gestão. Para este, a qualidade é medida através da interação entre o produto, o uso pelo cliente, as instruções de uso, assistência técnica e serviços disponíveis para reparos (DEMING, 1990).

Uma simples definição de qualidade é adequação ao uso, conceito este definido por Joseph M. Juran, nascido na Romênia, formado nos Estados Unidos. Foi o primeiro entre os gurus a indagar a respeito dos custos da qualidade, e também propôs três quesitos da qualidade. Sendo os quesitos, planejamento, controle e melhoria da qualidade (JURAN, 1990).

Os custos da qualidade são classificados em custos de prevenção, de avaliação, das falhas internas e das falhas externas. Os custos de prevenção estão relacionados ao esforço de fazer certo da primeira vez, evitando a ocorrência de defeitos. Os custos de avaliação são os custos incorridos nas inspeções e equipamentos de avaliação da qualidade. Os custos de falhas internas e externas são, respectivamente, identificados antes de o produto chegar ao consumidor final e o segundo inclui os custos de devolução por parte do cliente, perda de vendas futuras e quando o serviço prestado ao cliente não possui a qualidade esperada.

Philip B. Crosby, nascido nos Estados Unidos, utilizou o conceito de custo da qualidade desenvolvido por Juran, para propor o programa de Zero Defeito (Crosby,

1979), relacionado à qualidade, ou seja, fazer certo na primeira vez. O produto deve estar conforme as especificações para obter qualidade.

Kaoru Ishikawa, nascido no Japão, teve maior influência na dispersão da utilização das ferramentas da qualidade, com o propósito de atingir a satisfação do cliente para estar ativamente na competitividade entre as companhias (Ishikawa, 1985) Desenvolveu também o Diagrama de Ishikawa, ferramenta que auxilia na percepção de causa e efeito das ações dentro da empresa.

Com o termo Engenharia da Qualidade, Genichi Taguchi propicia o equilíbrio entre perda da qualidade, perdas geradas por um produto seja na produção ou no uso pelo cliente, e o preço do produto (Taguchi, 2005). Perdas essas não necessariamente relacionadas à conformidade das especificações, mas com a diminuição da variabilidade do objetivo.

David A. Garvin propõe a abordagem de que, se a qualidade deve ser gerenciada, primeiro precisa ser entendida, para isso ele apresenta a qualidade em oito dimensões: desempenho, características, confiabilidade, conformidade, durabilidade, atendimento, estética e qualidade percebida. Com isso, ele enfatiza que a qualidade pode ser uma oportunidade ou um problema para as empresas, quando bem gerenciada uma oportunidade (Garvin 1988).

Nascido nos Estados Unidos em 1891, Walter A. Shewhart teve uma importante contribuição para a qualidade, ficou conhecido como “Pai do CEP”, por desenvolver os gráficos de controle, fundindo os conceitos de estatística ao cotidiano do chão-de-fábrica. Também desenvolveu o ciclo PDCA (Plan, Do, Check e Act), uma ferramenta que facilita na análise, no direcionamento e na solução de problemas (PALADINI, 2012).

Os gráficos de controle são ferramentas utilizadas na área da qualidade para a identificação de causas de variações comuns ao processo e as causas especiais, sendo assim seria possível prever o comportamento do processo e agir proativamente.

Pode-se observar que a qualidade possui diferentes conceitos, desenvolvidos pelos gurus e todos esses possuem uma abordagem que visa o sistema como um todo, envolvendo a qualidade em todas as áreas da empresa.

Os requisitos da qualidade expressam as necessidades referentes às exigências do mercado, estes prevêm de diferentes aspectos como desempenho,

viabilidade, rentabilidade, custos de produção, manutenção, meio ambiente e aspectos relacionados à utilização eficiente dos recursos humanos (BLAGA, 2012).

2.2 FERRAMENTAS DA QUALIDADE

Frente ao atual cenário há grande exigência por parte dos clientes relacionada à qualidade dos produtos. Para que as empresas possam competir no mercado é necessário que estas invistam em qualidade, mas com um objetivo sistêmico, abrangendo todos os setores.

Com o auxílio das ferramentas da qualidade é possível identificar, prever, reduzir e até mesmo eliminar problemas gerados na gestão ou no processo produtivo das empresas. Cada ferramenta possui sua característica específica, auxiliando de alguma forma na melhoria do processo.

Sendo assim, nota-se a necessidade da utilização das ferramentas. A seguir será abordado o funcionamento de cada uma, dentre elas estratificação, folha de verificação, diagrama de pareto, diagrama de causa e efeito, histograma, diagrama de dispersão, e gráfico de controle. Este último será utilizado ao longo do desenvolvimento do trabalho, para a implantação de CEP em um processo produtivo.

2.2.1 Estratificação

É utilizado para separar os dados em conjuntos menores, mas relacionados entre si, agrupamento de informações, para análise dos dados separadamente. Possui o objetivo de evitar que alguns fatores conduzam à diferentes características estatísticas (DAHLGAARD, 2008).

2.2.2 Folha de Verificação

É uma folha em formato de planilha que auxilia e facilita a coleta de dados para posterior análise (Dahlgaard, 2008). Usada quando se pretende coletar dados com base em observações amostrais.

2.2.3 Diagrama de Pareto

É um recurso gráfico que por meio de uma ordenação/priorização entre as variáveis, é possível identificar a que mais influência no problema (Tague, 2004). Ao identificar as variáveis mais importantes é possível agir diretamente sobre a mesma.

A construção do mesmo é realizada em um gráfico de barras, a escala do lado esquerdo apresenta as quantidades ou ocorrências, e a escala do lado direito apresenta a porcentagem acumulada. Pode ser observado um exemplo na figura 1.

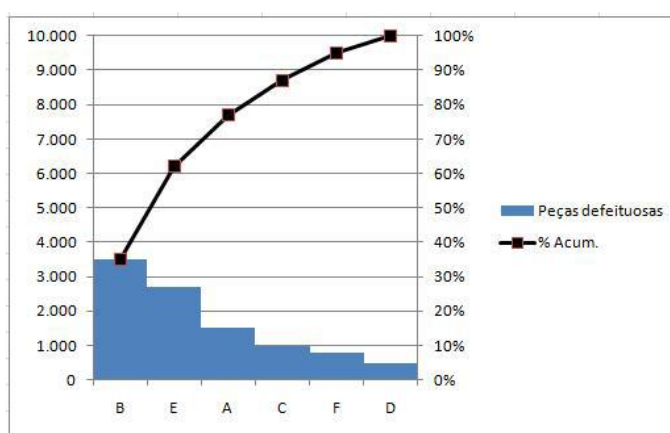


Figura 1 – Ilustração do gráfico de Pareto
Fonte: Adilson Soledad (2011)

Com isso, é possível dizer que um problema possui várias causas, mas apenas algumas representam um de grande impacto ou perda, que ganham visibilidade por meio da porcentagem cumulativa existente no gráfico (Salgado, 2008).

2.2.4 Diagrama de Causa e Efeito

Possui outras denominações como “Diagrama de Ishikawa” e “espinha de peixe”. É utilizado na relação entre causas e efeitos, auxiliando na identificação das possíveis problemas. Tem-se um exemplo na figura 2.

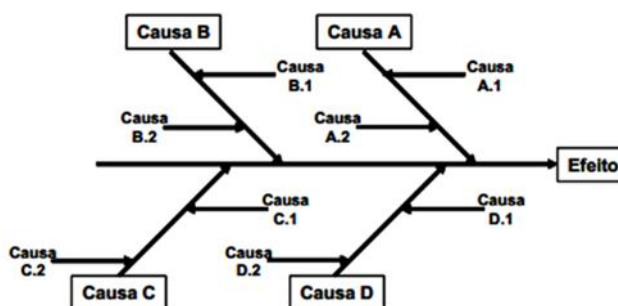


Figura 2 - Exemplo de Diagrama de Ishikawa

Fonte: Instituto Universitário de Lisboa

Como observado, através da utilização deste diagrama é possível obter-se melhor visualização do que pode estar impactando (causas) em algum problema ou oportunidade de melhoria (efeitos).

2.2.5 Histograma

É responsável por mostrar a variação de um processo em um determinado período, ou seja, mostrar a frequência (Montgomery, 2009) que algo acontece. Aponta a distribuição de frequências de variáveis ou dados obtidos por medições, através de um gráfico de barras.

2.2.6 Diagrama de Dispersão

Um modo de representar graficamente duas ou mais variáveis, uma em função da outra dentro de um mesmo gráfico. Sua importância como ferramenta da qualidade é a possibilidade de determinar a causa raiz de um problema, através da relação entre as variáveis. Permitindo que seja feita uma regressão linear e a determinação da reta, o que mostra o relacionamento entre as variáveis.

2.2.7 Gráfico de Controle

São gráficos desenvolvidos para o acompanhamento do processo, onde é possível a visualização do comportamento do processo com relação às variações,

sendo assim, identifica-se se este comportamento é previsível ou não (MONTGOMERY, 2009).

Essa ferramenta é utilizada para o controle estatístico do processo, por meio dos limites superior e inferior, possuindo duas distinções, podendo ser por variáveis ou por atributos, assunto este que será discutido no item 2.3.1 deste trabalho.

2.3 CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS

O Controle Estatístico de Processos foi introduzido por Shewhart em 1924, quando o mesmo trabalhava na *Bell Laboratories*, com o estudo da variabilidade do processo (MONTGOMERY, 2009). Tem por objetivo principal controlar e melhorar a qualidade do produto, processo ou serviço, por meio de ferramentas estatísticas.

O propósito é a satisfação do cliente, que são as exigências relacionadas a qualidade. A variabilidade do processo está interligada com a qualidade. (PALADINI, 2012). A finalidade do CEP é, contudo, estabilizar o processo reduzindo a variabilidade, para o controle do processo durante a produção.

Segundo Taguchi (2005), um produto ou serviço de qualidade atende à todas as especificações, atingindo o valor alvo com menor variabilidade em torno dele. Com o processo em controle, ou seja, estabilizado, haverá menor variabilidade e maior desempenho da produção, menos refugo, menos retrabalho, menor custo e conseqüentemente o aumento da qualidade (FLOTT, 2002).

Ao utilizar as ferramentas de CEP, identifica-se a previsibilidade do processo (Flott, 2002). É possível analisar os gráficos e determinar os pontos de variabilidade no processo, por meio de causas especiais ou comuns.

Causas especiais são provocadas por fenômenos incomuns, falhas ocasionais que ocorrem durante o processo, com influência individual. Como por exemplo, variações na matéria-prima, erros de operação, imprecisão no ajuste da máquina e desgaste de ferramentas. Quando se tem um dado fora dos limites, deve ser analisado e investigado a necessidade de agir sobre aquele acontecimento, ou não precisa, por ser atípico (LIMA, 2007).

Quando há uma causa comum, por exemplo, um problema de vibração, temperatura ou umidade, tem-se a necessidade de agir sobre aquele acontecimento,

porque se houve o problema uma vez, haverá continuamente, então a empresa precisa de ações para sanar aquela causa. (LIMA, 2007)

Sendo assim, o CEP possibilita o monitoramento e controle eficaz da qualidade, podendo ser realizado pelo próprio operador em tempo real. Assegurando que as características manter-se-ão dentro dos limites preestabelecidos, indicando quando ações de correção e melhoria deverão ser tomadas. E os defeitos são detectados mais cedo, evitando custos extras para a companhia (RIBEIRO, 2012).

A principal ferramenta de controle estatístico do processo utilizada neste trabalho são os gráficos de controle, para a análise do comportamento do processo, para posteriormente agir diretamente nas variações de causas comuns, buscando a melhoria contínua.

2.3.1 Gráficos de Controle

O gráfico de controle é utilizado para analisar os dados e determinar se um processo está ou não em um estado de controle estatístico (Stapenhurst, 2012). Para isso, é necessário que os valores coletados estejam dentro dos limites de controle.

O gráfico é composto por três linhas, sendo uma central, que representa o valor médio característico de qualidade exigido pela fábrica, a linha de limite superior (LSC) e a linha de limite inferior de controle (LIC). Estar dentro do controle, significa que os dados estão dentro dos limites estipulados. Como pode ser observado na figura 3.

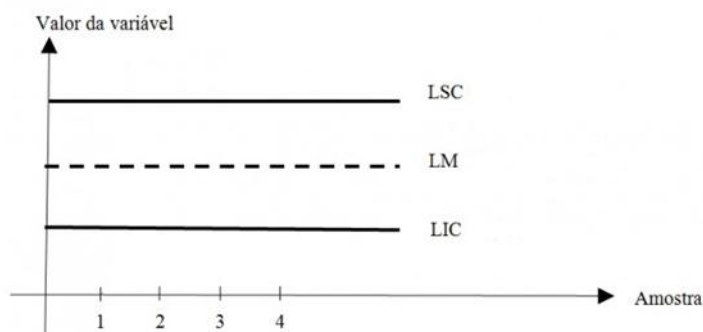


Figura 3 - Gráfico de Controle
Fonte: Autoria própria

A figura 3 possui uma popularidade devido à sua utilização em indústrias americanas e em outros países. Segundo Montgomery (2009), existem cinco razões para essa popularidade. Os gráficos de controle são uma técnica comprovada de melhoria da produtividade, são eficazes na prevenção de defeitos, evitam o ajuste desnecessário do processo, fornecem informação de diagnóstico e fornecem informação sobre a capacidade do processo.

Existem gráficos de controle para variáveis e para atributos, onde as variáveis referem-se a aspectos numerais, como peso, comprimento, densidade, rugosidade e os atributos estudam classificações e contagens.

Desta forma, os gráficos de controle por variáveis devem possuir uma distribuição normal, e por atributos podem possuir distribuição binomial, de Poisson ou Bernoulli (MONTGOMERY, 2009).

As cartas de controle por variáveis permitem ações preventivas no processo, e as cartas de controle por atributos geralmente permitem ações corretivas, após ter sido produzida uma quantidade relativa de itens defeituosos.

Sabe-se que os limites de controle do processo são distintos dos limites de especificação, ou seja, os limites de controle são influenciados por causas naturais do processo, e o limite de especificação é um fator externo, estipulado pelo fabricante ou pelo gerente (CARPINETTI, 2013).

Para melhor realizar a análise dos dados, utiliza-se a figura 4. Como pode ser observado, cada tipo de dado requer um gráfico de controle diferente para melhor realizar a análise.

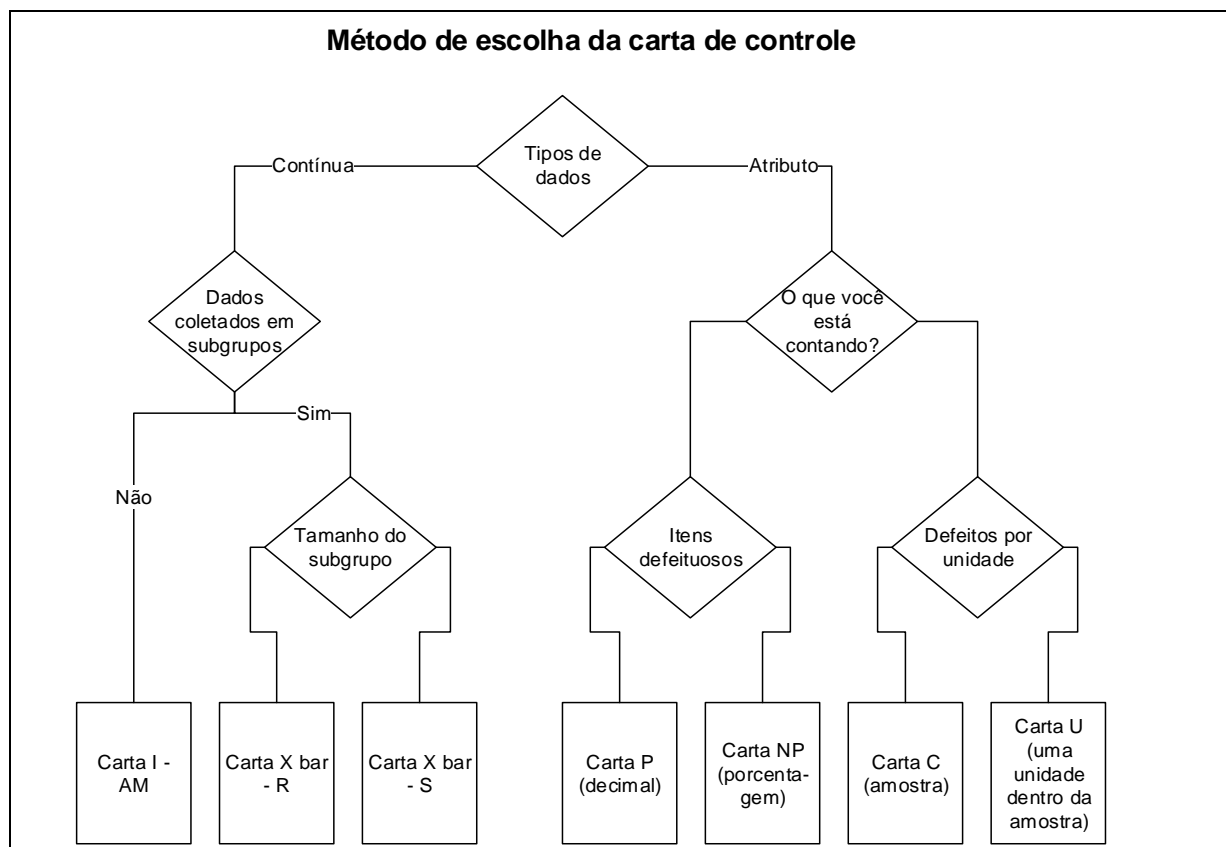


Figura 4 - Fluxograma para facilitar na escolha do gráfico a ser utilizado
 Fonte: Autoria Própria

Primeiramente deve ser analisado o tipo de dado se é contínuo (por variável) ou por atributo.

Se for contínuo, este pode ou não ser coletado em subgrupos, quando não são subgrupos, serão utilizados os gráficos de controle de medidas individuais, quando coletados em subgrupos, serão utilizados os gráficos de média e amplitude para tamanho de subgrupos da amostra entre 2 e 9, e o gráfico de média e desvio padrão para amostras maiores, e geralmente quando os dados são coletados eletronicamente.

Quando o dado é por atributo, deve-se analisar o que está sendo contado, itens defeituosos ou defeitos por unidade. Se forem itens defeituosos, utiliza-se o gráfico P para valores decimais ou o gráfico NP para valores em porcentagem. E quando conta-se defeitos por unidade, se for analisada a amostra como um todo, é utilizado o gráfico C, ou quando analisa uma unidade dentro da amostra, emprega-se o gráfico U.

Com a realização do gráfico de controle é possível a eliminação de causas especiais, por meio da identificação das causas raízes. Uma ação corretiva é essencial para um sistema eficaz.

Uma ação corretiva na utilização dos gráficos de controle é o Plano de Ação para Fora-de-Controle (PAFC), que é um fluxograma da sequência de atividades a serem realizadas para resolver a condição fora do controle, pela eliminação da causa especial (MONTGOMERY, 2009).

2.3.2 Gráficos por atributos

Os gráficos por atributos são utilizados para dados de classificação ou contagem existem quatro tipos de gráficos de controle por atributos, cada um específico para apresentar os dados da melhor maneira. Sendo eles gráfico p, gráfico c, gráfico u e gráfico np.

2.3.2.1 Gráfico de controle p

É o gráfico utilizado para controlar a fração não-conforme do processo. Neste caso, pode-se construir os gráficos para proporção para tamanho de amostra constante, tamanho de amostra variável. Isso irá depender do que a empresa quer analisar.

Para que este tipo de gráfico possua dados confiáveis, é necessário que os dados possuam uma distribuição binomial, com parâmetros n e p. A distribuição binomial é apresentada na equação (1).

$$P\{D = x\} = \binom{n}{x} p^x (1 - p)^{n-x} \quad (1)$$

Onde,

n = tamanho da amostra;

D = número de itens defeituosos na amostra.

A fração amostral não conforme, é representada pela equação (2).

$$\hat{p} = \frac{D}{n} \quad (2)$$

Onde,

\hat{p} = fração amostral não conforme.

Então, a média (μ) e a variância de p são (3):

$$\mu = p \quad \text{e} \quad \sigma_{\hat{p}}^2 = \frac{p(1-p)}{n} \quad (3)$$

Para a construção do gráfico p , com padrões estipulados, a linha central é o próprio p e para as linhas de controle utiliza-se as equações (4) e (5).

$$LSC = p + 3 \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \quad (4)$$

$$LIC = p - 3 \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \quad (5)$$

Se ao realizar o gráfico, forem encontradas causas especiais, ou seja, a fração não-conforme do gráfico p não é conhecida, recolhe uma nova amostragem (m) de tamanho n . Para que essa nova análise seja confiável, m deve possuir tamanho entre 20 e 25. E faz novamente a construção do gráfico, com \bar{p} .

Quando o tamanho da amostra é variável, os limites de controle também podem variar em sua largura. Cada ponto, ou seja, cada dado possui um limite de controle superior e inferior diferente.

2.3.2.2 Gráfico c

É o gráfico utilizado para controle de não conformidades, controla o número total de defeitos ou não-conformidades em uma unidade de produto, possui o subgrupo = 1.

Os defeitos no produto estão distribuídos de acordo com Poisson (6).

$$p(x) = \frac{e^{-c} c^x}{x!} \quad (6)$$

Onde,

x = número de não conformidades;
 $c > 0$ = parâmetro da distribuição de Poisson.

Então, para a construção do gráfico c , a linha central é o próprio c , e os limites são compostos como mostram as equações (7) e (8).

$$LSC = c + 3\sqrt{c} \quad (7)$$

$$LIC = c - 3\sqrt{c} \quad (8)$$

E após a construção do gráfico faz-se as análises e tomadas de decisão com base no resultado do gráfico.

2.3.2.3 Gráfico u

Utiliza-se para controlar a taxa de defeitos por unidade, e o subgrupo neste caso é maior que 1.

$$u = \frac{x}{n} \quad (9)$$

Onde,

x = valor aleatório da distribuição de Poisson, que são as não-conformidades encontradas em uma amostra de unidades por inspeção;

n = tamanho da amostra;

u = número de não conformidades por unidade em um conjunto de dados.

Para a construção do gráfico, a linha central é formada pelo \bar{u} e utiliza-se as equações (10) e (11) para os limites de controle.

$$LSC = \bar{u} + 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad (10)$$

$$LIC = \bar{u} - 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad (11)$$

Os limites de controle superior e inferior são calculados com base no número médio de não-conformidades por unidade.

2.3.2.4 Gráfico np

É o gráfico que controla a variação do número de itens não conformes/defeituosos em amostras de tamanho constante.

O p utilizado é o mesmo da carta de controle p, então para a construção do gráfico, deve-se determinar o valor de np (12), que será a linha central.

$$np = p * n \quad (12)$$

Onde:

n = tamanho da amostra.

Então o limite superior e inferior de controle, são construídos com base nas equações (13) e (14).

$$LSC = np + 3 \sqrt{np(1 - p)} \quad (13)$$

$$LIC = np - 3 \sqrt{np(1 - p)} \quad (14)$$

Este gráfico baseia-se no número de não-conformes, diferente do gráfico p, que é baseado na fração não-conforme.

2.3.3 Gráficos por Variáveis

Existem três tipos de gráficos de controle por variáveis quando utiliza-se o gráfico da média (\bar{x}) e da amplitude (\bar{R}), da média (\bar{x}) e do desvio padrão (S) e o gráfico de medidas individuais, que utiliza a amplitude móvel (A_m).

Não é conhecido os valores da média (μ) e do desvio padrão (σ), sendo assim, usa-se valores tabelados, oriundos de diversos estudos com diferentes tamanhos de amostras. Essas tabelas estão presentes nos anexos desse estudo.

2.3.3.1 Gráfico de controle da média e amplitude

Implementa-se o gráfico de controle da média e amplitude juntos, devido ao fato de que eles se complementam, com o objetivo de controlar a variabilidade do processo e detectar qualquer mudança que ocorra tanto na média do processo, quando em sua dispersão.

É utilizado quando o tamanho do subgrupo da amostra é entre 2 e 9, sendo necessário calcular a amplitude entre os subgrupos.

Para a construção do gráfico da média, a linha central é composta pela média dos dados. Para determinar os limites, é necessário calcularmos a média das amplitudes amostrais (15).

$$\bar{R} = \frac{R_1 + \dots + R_m}{m} \quad (15)$$

Para construir os limites de controle, deve-se utilizar o anexo A. Com base em estudos, têm-se os valores para desvio padrão, portanto os limites de controle do gráfico da média são calculados através das equações (16) e (17).

$$LSC = \bar{X} + A_2 \bar{R} \quad (16)$$

$$LIC = \bar{X} - A_2 \bar{R} \quad (17)$$

No gráfico das amplitudes, a linha central é formada por \bar{R} , e os limites de controle (18) e (19), dependem dos dados tabelados, do anexo A.

$$LSC = \bar{R} * D_4 \quad (18)$$

$$LIC = \bar{R} * D_3 \quad (19)$$

Os limites superior e inferior, estão diretamente relacionados à três desvios-padrão de distância da linha central.

2.3.3.2 Gráfico de controle da média e desvio padrão

A utilização deste gráfico é conveniente quando os dados são coletados eletronicamente, devido ao fato de que é necessário o cálculo do desvio padrão de cada ponto. A principal diferença entre o gráfico \bar{x} e S e o \bar{x} e R é o cálculo da estimativa do σ .

O desvio padrão S é um estimador para o desvio padrão populacional σ . (Montgomery, 2009). A linha central do gráfico do desvio padrão é composta pela equação (20).

$$S = C_4 * \sigma \quad (20)$$

Emprega-se este gráfico geralmente quando o tamanho da amostra é variável, ou o tamanho da amostra é $n > 10$ ou 12.

Os limites superior e inferior do gráfico da média são calculados com valores tabelados, a partir da utilização das equações (21) e (22).

$$LSC = \bar{\bar{X}} + A_3\bar{S} \quad (21)$$

$$LIC = \bar{\bar{X}} - A_3\bar{S} \quad (22)$$

Para a construção do gráfico do desvio padrão, os limites de controle são calculados a partir das equações (23) e (24).

$$LSC = \bar{S} * B_4 \quad (23)$$

$$LIC = \bar{S} * B_3 \quad (24)$$

Quando o tamanho da amostra é variável, deve-se usar a média ponderada para o cálculo das linhas centrais, da média e do desvio padrão amostral.

2.3.3.3 Gráfico de controle de medidas individuais

Neste caso, as amostras são de tamanho $n=1$, pois são casos em que não é conveniente agrupar as amostras. Geralmente são utilizados para indústrias de

processos químicos, fabricação de aços, celulose. É necessário calcular a amplitude móvel (Am), para compor a linha central, através da equação (25).

$$Am = |x_i - x_{i-1}| \quad (25)$$

E calcula-se os limites superior e inferior utilizando o anexo A e as equações (26) e (27).

$$LSC = \overline{Am} * D_4 \quad (26)$$

$$LIC = \overline{Am} * D_3 \quad (27)$$

Para a construção do gráfico das médias de medidas individuais ($n=1$), a linha central é a própria media e os limites são calculados por meio da utilização das equações (28), (29) e (30), e os valores tabelados encontram-se no anexo A.

$$E_2 = \frac{3}{d_2} \quad (28)$$

$$LSC = \bar{X} + (E_2 * \overline{Am}) \quad (29)$$

$$LIC = \bar{X} - (E_2 * \overline{Am}) \quad (30)$$

Após a construção dos gráficos é necessário a análise e tomadas de decisão referente às observações e conclusões atribuídas ao comportamento do processo.

2.3.4 Avaliação da Capacidade do Processo

Ao utilizar os gráficos de controle, busca-se a estabilidade do processo. Nesta fase de avaliação da capacidade do processo, estuda-se a capacidade de produzir itens conformes, de acordo com as especificações do projeto (Carpinetti, 2013).

A capacidade do processo será avaliada por meio dos índices de capacidade C_p e C_{pk} . Esses itens medem o quanto o processo atende às especificações previamente estipuladas.

Para calcular o C_p , utiliza-se a equação (31).

$$C_p = \frac{LSE - LSI}{6\sigma} \quad (31)$$

Onde,

LSE = limite superior de especificação, definido pelo fabricante;

LSI = limite inferior de especificação, definido pelo fabricante;

σ = desvio padrão do processo.

O C_p é a taxa de tolerância à variação do processo, e esse índice não considera a centralização (média) do processo. Quanto maior o índice, mais provável de que o processo esteja dentro dos limites de especificação.

O C_{pk} é calculado com base na equação (32).

$$C_{pk} = \text{MIN} \left(\frac{LSE - \mu}{3\sigma}; \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \right) \quad (32)$$

Onde,

μ = a média do processo.

O C_{pk} considera a centralização do processo e é sensível aos deslocamentos dos dados. Algumas classificações do processo em relação aos valores do C_{pk} podem ser observadas na tabela 1.

Tabela 1 - Classificação do processo com respeito a sua capacidade

Classificação	Valor de C_{pk}
Capaz	$\geq 1,33$
Razoavelmente Capaz	$1 \leq C_{pk} \leq 1,33$
Incapaz	< 1

Fonte: Carpinetti (2013) – adaptado

Com o C_p é possível medir o potencial do processo e com o C_{pk} , mede-se o desempenho do processo (SANTOS, 2006).

Pode-se observar nas figuras 5, 6, 7 e 8 o C_p e o C_{pk} de alguns exemplos.

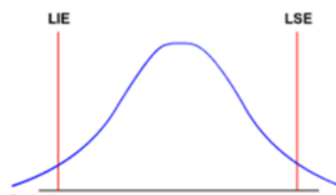


Figura 5 - Gráfico de variação do desvio do valor nominal (1)
Fonte: Autoria Própria

A figura 5, mostra um processo incapaz, ou seja, está ultrapassando os limites de especificação, com baixo C_p e baixo C_{pk} , pois a variação está passando dos limites.



Figura 6 - Gráfico de variação do desvio do valor nominal (2)
Fonte: Autoria Própria

Na figura 6, o processo é satisfatório, possui o C_p bom, variação dentro dos limites e C_{pk} bom, com a distribuição centrada.

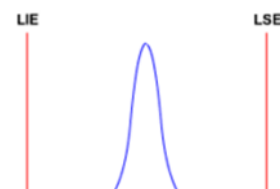


Figura 7 - Gráfico de variação do desvio do valor nominal (3)
Fonte: Autoria Própria

A figura 7 apresenta um processo capaz, com alto C_p , baixa variação e alto C_{pk} , que a distribuição está centrada e com pouca variação em relação ao LSE e LIE.



Figura 8 - Gráfico de variação do desvio do valor nominal (4)
Fonte: Autoria Própria

Na figura 8, o processo é incapaz, porque não está atendendo os limites de especificação, possui um C_p alto, devido à baixa variação e um C_{pk} baixo, porque está descentralizado.

O C_{pk} permite a avaliação das piores e melhores situações da capacidade do processo, e determina uma estratégia conservadora. Um processo com o C_{pk} alto, mantém a estabilidade do processo, garantindo um comportamento satisfatório.

O C_p e o C_{pk} estão relacionados à distribuição dos dados coletados na curva de sino. Para uma distribuição normal, cerca de 68% dos valores de dados irá situar-se dentro de um desvio padrão, 95% dentro de dois desvios padrão da média e 99,7% dentro de três desvios padrão da média, como pode ser observado na figura 9 (CARPINETTI, 2013).

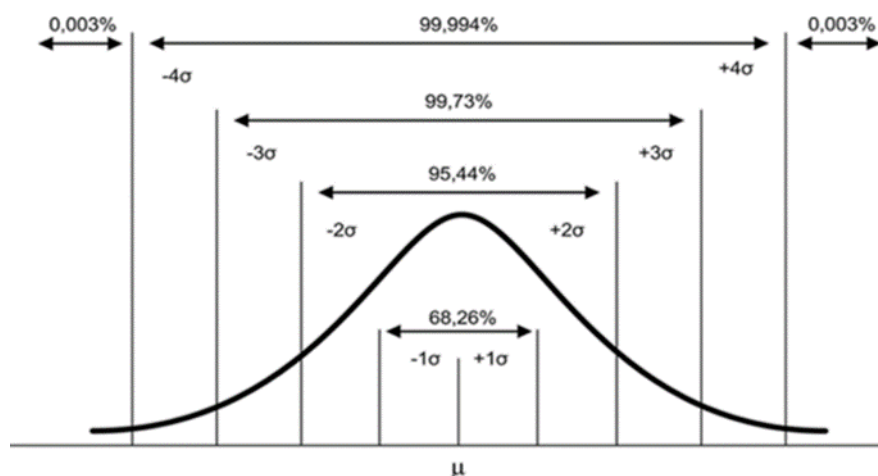


Figura 9 - Probabilidade da Distribuição
Fonte: Portal Action

Quando em um processo existem causas especiais, há necessidade de maior atenção em seus dados.

Considera-se como causa especial um ou mais pontos fora dos limites de controle, dois ou três pontos consecutivos fora dos limites de alerta dois-sigma,

quatro ou cinco pontos consecutivos além dos limites um-sigma, uma sequência de oito pontos consecutivos de um mesmo lado da linha central, seis pontos em uma sequência sempre crescente ou decrescente, quinze pontos em sequência acima ou abaixo da linha central, quinze pontos alternadamente para cima e para baixo, um ou mais pontos perto de um limite de controle (MONTGOMERY, 2009).

2.3.5 Importância do CEP para Obtenção da Excelência Operacional Seis Sigma

O termo “*Six Sigma*” foi desenvolvido pela Motorola, nos anos 80, quando foram estabelecidos níveis da qualidade, que eram mensurados em milhares de oportunidades. Então a metodologia seis sigma, está associada à necessidade de mudança cultural com o padrão de qualidade. E com a divulgação dos resultados, outras grandes companhias passaram a adotar essa metodologia (PALADINI, 2012; MONTGOMERY, 2009 e WERKEMA, 2002).

Este modelo de gestão é uma estratégia gerencial, caracterizada por uma abordagem sistêmica e pela utilização de ferramentas estatísticas. E possui como objetivo a redução da variabilidade dos processos críticos e o aumento do lucro, através da diminuição dos custos, buscando a satisfação dos clientes (PALADINI, 2012).

Possui como principais características a ênfase no controle da qualidade, o foco no cliente, a análise e solução de problemas usando recursos disponíveis, uso sistemático de ferramentas estatísticas e a utilização do modelo DMAIC e da ferramenta PDCA, para a obtenção da melhoria contínua (BOARIN, 2006).

Essa metodologia tem como base o aperfeiçoamento do processo, utilizando o procedimento do DMAIC, que é definido por cinco fases (PALADINI, 2012). A primeira fase é constituída pelo *define* (definir), onde são definidas as prioridades do processo. Na segunda fase, *Measure* (medir), ocorre a abordagem de como o processo é medido e como é executado. A terceira fase é do *Analyze* (analisar), onde são identificadas as causas-raízes dos defeitos e oportunidades de melhorias. O *Improve* (melhorar), nesta fase são eliminadas as causas dos defeitos. E por último o *Control* (controle), ou seja, é realizada a manutenção das melhorias.

A excelência operacional Seis Sigma, é quando a empresa possui o objetivo de trabalhar com os melhores indicadores numa determinada área. O enfoque deixa

de ser no acionista ou proprietário da companhia como na qualidade total, e consideram outros indivíduos, como as outras partes interessadas no desempenho de uma organização (PALADINI, 2012).

O interesse passa a ser sobre todos os envolvidos, como os acionistas e proprietários, clientes, fornecedores, comunidade e sociedade, ou seja, os *stakeholders*. A excelência operacional é atingida de acordo com a avaliação da gestão de uma organização com relação às práticas de gestão utilizadas e os resultados organizacionais direcionados à atender as necessidades de seus *stakeholders* (PALADINI, 2012).

Faz-se importante o entendimento da letra “sigma” (σ), neste cenário de Excelência Operacional Seis Sigma, que representa o desvio padrão de um conjunto de dados populacional, ou seja, quantifica a variação dos dados em relação à média. Outra unidade de medida utilizada no Seis Sigma é o PPM, partes por milhão, quantos itens defeituosos existem quando produzidas um milhão de peças.

Como pode ser observado na figura 10, com o padrão Seis Sigma a produção de itens defeituosos é mínima, sendo traduzida PPM é de apenas 0,002 PPM, o que é visto na tabela 2.

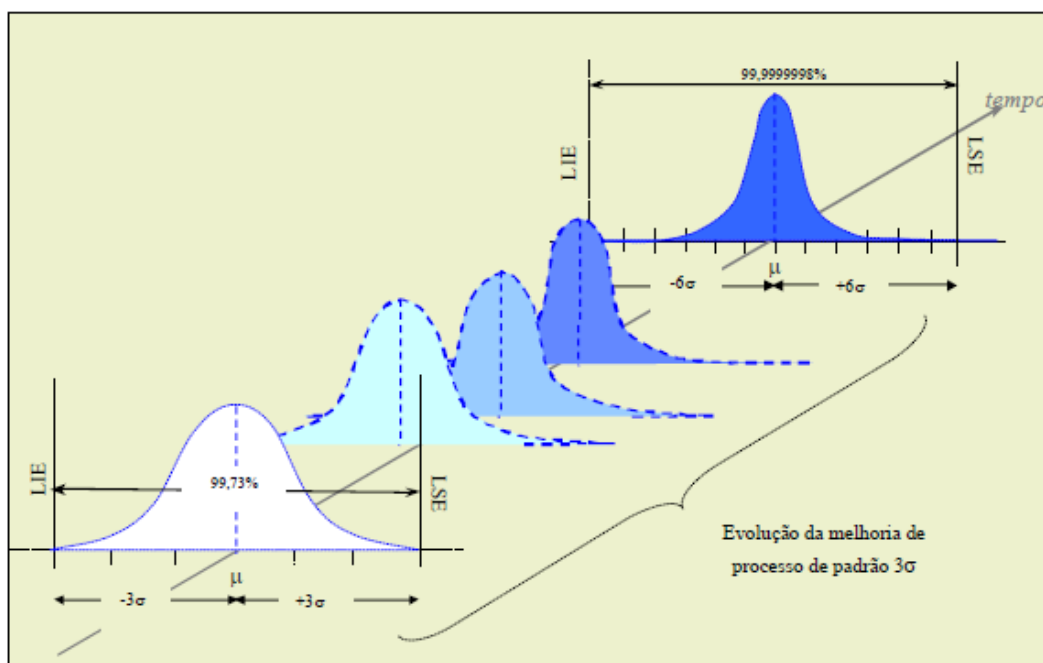


Figura 10 - Representação da função densidade de probabilidades para um processo 3 σ evoluindo para um padrão 6 σ sujeito a pequenas oscilações na média.

Fonte: Santos (2006)

Para obter os valores dos sigmas referentes aos defeitos em parte por milhão, utiliza-se a curva normal, que possui área igual a 1, e a tabela de distribuição normal padrão, que está no anexo B. Sendo assim, quando o processo for de 1σ , as perdas serão calculadas de acordo com a subtração dos valores encontrados na tabela da na área total da curva (MONTGOMERY, 2009).

Tabela 2 - Valores dos Índices de capacidades e quantidade de defeitos PPM, pressupondo processo centrado, estabilidade e distribuição normal

Padrão Sigma	C_p	C_{pk}	Defeitos (PPM)
1σ	0,33	0,33	317.311
2σ	0,67	0,67	45.500
3σ	1,00	1,00	2.700
4σ	1,33	1,33	63
5σ	1,67	1,67	0,57
6σ	2,00	2,00	0,002

Fonte: Santos (2006)

Com o estudo dos Seis Sigmas, a Motorola afirmou que como a quantidade de defeitos por milhão no padrão Seis Sigmas é baixa, pode haver uma variação de $1,5\sigma$ na produção, que ainda assim faria um produto zero defeito, passando de 0,002 PPM para 3,4 PPM (SANTOS, 2006). Recalculando os defeitos por milhão, esta variação é observada na figura 7. Sendo que, esta variação não altera a largura do sino, mantendo os 12σ , apenas a média do processo que não está centrada no valor nominal.

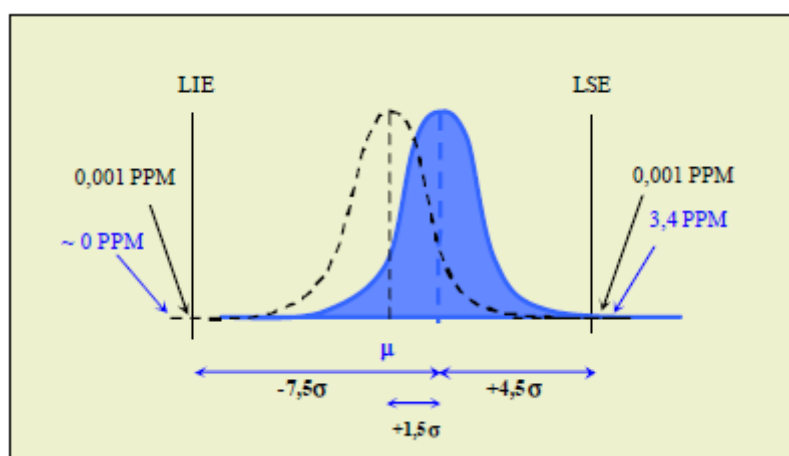


Figura 11: Representação da função densidade de probabilidades para um processo com padrão 6σ que foi deslocado $+1,5\sigma$ do valor nominal

Fonte: Santos (2006)

Como observado na figura 11, mesmo com a variação de $+1,5\sigma$ na média do processo, com relação os defeitos em partes pro milhão a alteração foi mínima, o que para os clientes seria imperceptível (MONTGOMERY, 2009; SANTOS, 2006). Os cálculos para essa variação são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 - Valores dos Índices de capacidades e quantidade de defeitos PPM, pressupondo processo desviado $+1,5 \sigma$, estabilidade e distribuição normal

Padrão Sigma	C_p	C_{pk}	Defeitos PPM (média desviada $+1,5 \sigma$ do valor nominal)
1 σ	0,33	-	691.462
2 σ	0,67	0,17	308.538
3 σ	1,00	0,50	66.807
4 σ	1,33	0,83	6.210
5 σ	1,67	1,17	233
6 σ	2,00	1,50	3,4

Fonte: Santos (2006)

Com base nesse estudo, é importante observar que para se obter um processo excelente é necessário um alto índice C_{pk} . À medida que ocorrem melhorias em um processo, ele tenderá a ser Seis-Sigma, devido ao fato que aumenta a capacidade do processo, diminui a variabilidade e reduz o número de peças defeituosas.

2.4 ANÁLISE DO DESEMPENHO DO GRÁFICO DE CONTROLE

Nesta seção será apresentada a habilidade do gráfico de controle em detectar mudanças na qualidade do processo.

Primordialmente é necessário definir o teste de hipóteses. De acordo com Carpinetti (2013), o teste de hipóteses pode ser definido como:

H_0 : processo em controle ou $\mu = \mu_0$

H_1 : processo fora de controle ou $\mu \neq \mu_0$

Considerando, μ como a média do processo.

Por conseguinte, existem erros que podem ser cometidos com base nestas hipóteses, sendo eles o erro do tipo I, que é rejeitar uma hipótese verdadeira e a probabilidade de cometê-lo é α . E o erro do tipo II, que é aceitar uma hipótese falsa, e o risco de cometê-lo é β , conforme mostrado na figura 12.

Hipótese H_0	Decisão			
	Aceitar H_0		Rejeitar H_0	
	Probabilidade		Probabilidade	
Verdadeira	Decisão correta	$1 - \alpha$	Erro do tipo I	α
Falsa	Erro do tipo II	β	Decisão correta	$1 - \beta$

Figura 12 - Possíveis resultados de um teste de hipótese
Fonte: Carpinetti, 2013

Neste caso, H_0 é aceita como verdadeira, sempre que o processo estiver em controle, se for rejeitada, ocorre o erro do tipo I (33). E quando H_0 é aceita, mas na verdade o processo está fora do controle, é cometido o erro do tipo II (34).

$$\alpha = P\{\bar{X} > LSC \text{ ou } \bar{X} < LIC \mid \mu = \mu_0\} \quad (33)$$

$$\beta = P\{LIC \leq \bar{X} \leq LSC \mid \mu \neq \mu_0\} \quad (34)$$

As equações (33) e (34) permitem entender o que realmente significam as probabilidades de cometer os erros do tipo I e do tipo II. Mas, β pode ser expresso também pela equação (35).

$$\beta = \Phi(L - k\sqrt{n}) - \Phi(-L - k\sqrt{n}) \quad (35)$$

Sendo Φ , a distribuição acumulada da normal padrão, encontrada no anexo B, L a largura do gráfico expressa em quantidade de sigmas, k o deslocamento em unidades de desvio-padrão e n o tamanho da amostra.

Segundo Montgomery (2009), a habilidade do gráfico de controle em detectar mudanças na qualidade do processo é descrita pelas curvas características de operação (CO), a qual pode ser observada na figura 13.

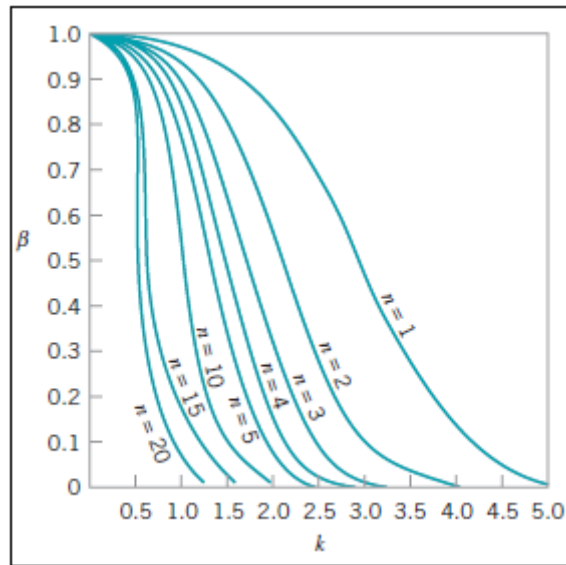


Figura 13 - Curvas CO para o gráfico \bar{X} com limite 3 sigmas
Fonte: Montgomery (2009)

À vista disso, o poder do gráfico em detectar um pequeno deslocamento no processo é de $1 - \beta$.

Então, o número de amostras necessárias para detectar o deslocamento do processo, é o comprimento médio da sequência (CMS). Quando o processo está em controle, é utilizado o CMS_0 , que é calculado conforme a equação (36).

$$CMS_0 = \frac{1}{\alpha} \quad (36)$$

Sendo α , a probabilidade de um alarme falso, ou seja, está fora dos limites de controle, pode ser tratado como uma causa especial, sendo uma causa normal. Quando há o deslocamento na média do processo utiliza-se o CMS_1 , representado pela equação (37).

$$CMS_1 = \frac{1}{1 - \beta} \quad (37)$$

Logo, Montgomery (2009) apresenta os valores calculados do comprimento médio da sequência para alguns sigmas de deslocamento, se considerado gráficos de controle das observações individuais com limites de três-sigma, conforme a tabela 4.

Tabela 4 - Tabela do comprimento médio da sequência conforme o tamanho do deslocamento no gráfico de controle das observações individuais com limite de três-sigmas

Tamanho do Deslocamento	B	CMS₁
1σ	0,9772	43,96
2σ	0,8413	6,30
3σ	0,5000	2,00

Fonte: Montgomery (2009)

Sendo o β da tabela 4, a probabilidade de ocorrência do erro do tipo II, ou seja, a probabilidade de não se detectar um deslocamento de $k\sigma$ na média do processo.

Pode-se observar que a habilidade do gráfico de controle das observações individuais em detectar pequenos deslocamentos é pequena. E que, quanto maior o deslocamento, menor o comprimento médio da sequência, o qual é o número de amostras necessárias para se identificar um descontrole no processo.

Utilizando os valores da tabela, um gráfico de controle de observações individuais com limite de 3-sigmas, e deslocamento de 1 desvio padrão (pequeno deslocamento), observa-se que possui 97,72% de chances de não detectar uma mudança na qualidade do processo com um número de amostras inferior a 44.

Com isso, é sugerido o uso de limites de controle mais estreitos que 3 sigmas, no gráfico de controle para observações individuais para acentuar a sua habilidade na detecção de pequenos deslocamentos.

2.5 CONTEXTUALIZAÇÃO

A qualidade se desenvolveu por meio de suas Eras, e com elas o surgimento das ferramentas da qualidade com base nos conceitos e práticas existentes, as quais são utilizadas para definir, mensurar, analisar e tomar decisões nas empresas, estabelecendo melhorias no processo.

Geralmente para melhores resultados essas ferramentas são utilizadas em conjunto, pelo fato de uma complementar a outra e cada uma possuir sua devida importância.

A estratificação deve ser feita, para analisar os dados corretos, para não acontecer de dados insignificantes serem analisados e a empresa desperdiçar tempo e ter um custo desnecessário. A folha de verificação é importante para a análise de tendências ou padrões significativos. O diagrama de Pareto facilita a visualização dos defeitos e a frequência de ocorrência. Com o diagrama de Ishikawa é possível agir diretamente nas causas/raízes dos problemas. E com diagrama de dispersão sabe-se a relação entre duas variáveis, se um fator pode ou não influenciar em outro.

A principal ferramenta utilizada neste trabalho é o Gráfico de Controle para medidas individuais, para que possa atingir os benefícios do Controle Estatístico de Processo.

A utilização do CEP e os deslocamentos da média do processo podem ser observados também na obtenção da excelência operacional em *Six-Sigma*. Sendo que a melhoria obtida no poder de detecção do gráfico de controle será através da análise de desempenho do gráfico para observações individuais.

3 METODOLOGIA

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Uma pesquisa científica pode ter quatro classificações, dentre elas natureza, objetivos, abordagem e método (TURRIONI e MELLO, 2011).

Este trabalho é classificado como natureza aplicada, por haver a análise dos dados da empresa, para a compreensão e conclusão do estudo (BARROS, 2000).

Quanto aos objetivos, este trabalho é caracterizado como pesquisa exploratória, pela obtenção de dados, análise dos mesmos e pela familiaridade do pesquisador a fim de deixá-lo explícito e formar hipóteses para a solução (TURRIONI, 2011).

A abordagem do problema é caracterizada como pesquisa quantitativa, onde serão utilizadas as alterações no CMS para a verificação das melhorias obtidas (GIL, 2002).

Do ponto de vista do método de trabalho, é um estudo de caso, onde os dados serão coletados momentaneamente para o estudo com o objetivo de alcançar um conhecimento amplo e detalhado do tema a partir de um ou poucos objetos relacionados a ele (GIL, 1999).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS DE INFLUÊNCIA

Como este trabalho tem por objetivo verificar a habilidade do gráfico de controle em detectar deslocamentos na composição química do carbono em ligas especiais, as principais variáveis a serem estudadas, são as que influenciam na análise de desempenho do gráfico do processo em estudo sendo elas, amplitude móvel (MR), desvio-padrão populacional (σ), a média (μ), a probabilidade de cometer o erro do tipo I (α), a probabilidade de cometer o erro do tipo II (β), o deslocamento da média em unidades de desvio-padrão (k) e a largura do gráfico de controle (L).

Outras variáveis que poderão influenciar no processo são os limites superiores e inferiores de controle (LSC e LIC), pois o processo poderá estar operando de maneira estável, mas de forma descentralizada.

A MR e σ são, respectivamente, a amplitude móvel e o desvio padrão populacional, ou seja, do conjunto de dados coletados como um todo, não apenas de uma amostra. Ao empregar s , é o desvio padrão amostral, que é utilizado para amostras do processo.

O α é o risco, ou seja, a probabilidade de cometer o erro tipo I e tratar uma causa comum como uma causa especial, quando H_0 for verdadeira e rejeitada. E β é a probabilidade de cometer o erro tipo II, ou seja, quando H_0 for falsa e aceitá-la estatisticamente, é como tratar uma causa especial como se fosse uma causa comum.

Estes serão os dados de maior importância para a abrangência da análise do desempenho do gráfico de controle em detectar pequenos deslocamentos em unidades de desvio-padrão.

3.3 DESCRIÇÃO DO AMBIENTE DE COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada na ENGEMASA, uma empresa de fundição localizada na cidade de São Carlos-SP. Seu portfólio é formado por produtos fundidos e forjados, em bruto ou usinados.

Fundada em 1976, por engenheiros da Universidade de São Paulo (USP) e Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), na cidade de São Carlos, a empresa atua no setor de fundição de aços inoxidáveis e ligas especiais, com o objetivo de substituir as importações.

Na década de 1980, os clientes fizeram com que a empresa se adequasse ao mercado e começasse a produzir barras forjadas em ligas especiais e agulhas metálicas utilizadas para reforço de concreto refratário.

Em 1990, a empresa mantinha um relacionamento com as universidades e laboratórios de pesquisas, com isso a ENGEMASA adentra ao mercado Petroquímico fornecendo fundidos estáticos de alto níquel e cromo para trabalhos à altas temperaturas, também se desenvolveu a tecnologia para a fabricação de Tubos Centrifugados e iniciou a montagem de colunas petroquímicas.

Atualmente a empresa conta com cerca de 250 funcionários. Os produtos fabricados pela ENGEMASA são certificados pelo TÜV, PETROBRAS, AD-Merkblatt, PED e possui a certificação da Norma ISO 9001:2008 pelo SGS.

A princípio, este estudo foi realizado utilizando os dados de análise química dos materiais desta empresa. Para que o processo de coleta de dados seja compreendido, faz-se necessário saber como são obtidos os dados.

Durante o processo de fundição, são retiradas amostras do material (chamada de bolacha), para fazer a análise química, e então dar continuidade ao processo. A partir das amostras, o laboratório faz a análise química do material utilizando o espectrômetro com diferentes faixas de porcentagens para os elementos, e assim obtêm-se as porcentagens de cada elemento presente na liga em análise. Esses dados são anotados e posteriormente passados para o sistema informatizado.

Para realizar a coleta de dados, foi necessário o contato com o setor de Controle de Processamento de Dados (CPD) da empresa, para que o mesmo emitisse o Relatório de Análise Química do sistema, para o período desejado. O mesmo foi encaminhado para o estudo.

Com este relatório em mãos, foi escolhida a liga E2535Nb-Ma, que seria o objeto de estudo, sendo ela baseada na carteira de pedidos, ou seja, a que possui maior saída na empresa, e escolheu-se o carbono, por ser um dos elementos de liga. Isto posto, deu-se continuidade no estudo, na confecção dos gráficos e nos cálculos necessários.

3.4 ANÁLISE DE DESEMPENHO DO GRÁFICO DE CONTROLE

Conforme Montgomery (2009), para poder utilizar o gráfico de controle para medidas individuais, primeiro é necessário certificar-se de que os dados possuem distribuição normal, pois se o processo apresentar alguma evidência de um desvio da normalidade, os limites estabelecidos pelo gráfico podem ser inapropriados. Então, através da utilização do software SPSS, que é um software de análise estatística, com o teste de Kolmogorov-Smirnov, será certificado de que os dados são normais.

Serão gerados os gráficos de controle para observações individuais no Action Stat, que é um software de estatística integrado ao Excel, por meio da ferramenta da qualidade disponível para CEP.

Através da análise gerada pelo Action, serão utilizados a média (μ_0) e o desvio-padrão (σ). Encontrar-se-á a nova média (μ_n), para realizar os cálculos do poder do gráfico em detectar os deslocamentos do processo através da equação (38).

$$\mu_n = \mu_0 + (k * \sigma) \quad (38)$$

Sendo os deslocamentos da média em unidade de desvio-padrão (k) igual a 1, 2 e 3.

Posteriormente, será realizado o cálculo do poder do gráfico em detectar o deslocamento do processo. Para que o Comprimento Médio da Sequência, seja calculado, para os diferentes valores de k , de acordo com a equação (37). Subsequentemente será gerada a Curva Característica de Operação, por meio de um gráfico.

Para aumentar a habilidade do gráfico em determinar os deslocamentos do processo, serão calculados novos CMS's, alterando a largura do gráfico. Pois, a largura usual utilizada pelos softwares e pela literatura é de $L=3$, sendo neste trabalho calculado o CMS's para valores de L iguais a: 2; 2,5 e 3. Pode-se observar esses passos na figura 14.

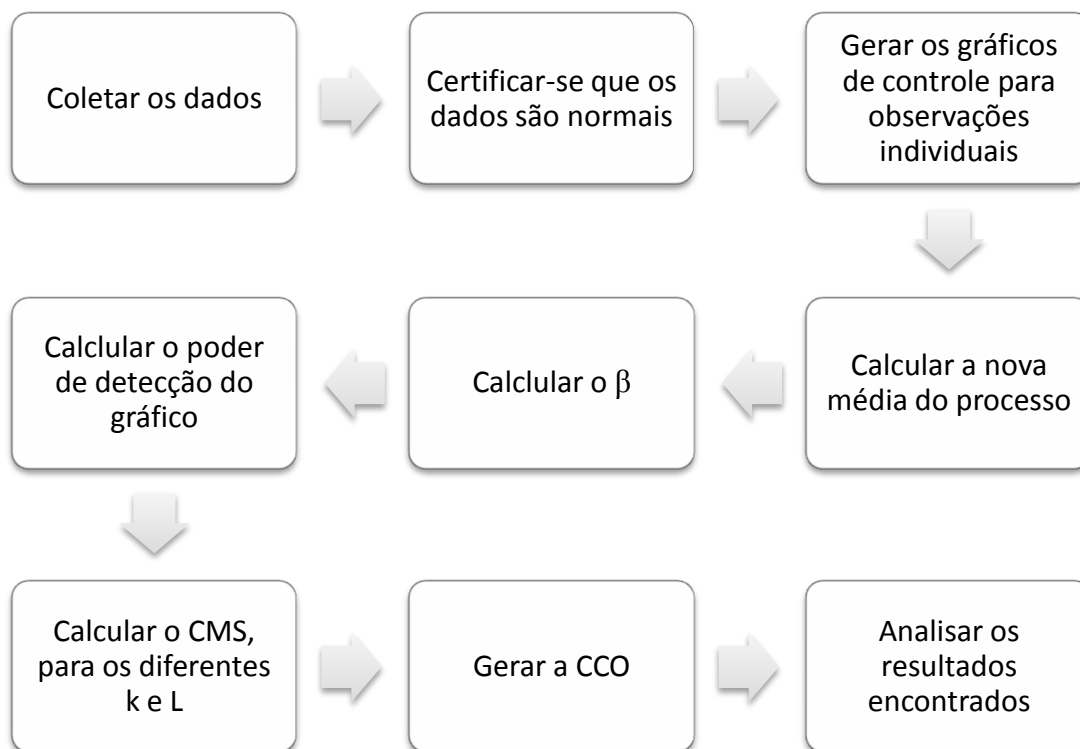


Figura 14 – Fluxograma da verificação das melhorias obtidas
Fonte: Autoria própria

Espera-se encontrar menores valores para CMS, sendo que com um menor número de amostras será possível detectar um deslocamento ou problema na qualidade processo.

3.5 VERIFICAÇÃO DE MELHORIAS

Será realizada uma análise comparativa entre os dois blocos de dados em estudo. Sendo que o bloco 1, é composto pela porcentagem de carbono de 35 amostras referente aos meses de janeiro, fevereiro e março de 2016. E o bloco 2, compõe-se de 74 amostras dos meses de abril, maio e junho de 2016.

Sendo assim, as melhorias serão verificadas se de fato existir uma diminuição no CMS ao alterar a largura do gráfico. Ou seja, ao estreitar a largura do gráfico de controle para observações individuais, será possível detectar uma não conformidade no processo utilizando um menor número de amostras.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS

Os dados coletados, apresentados nos apêndices A e B, são as porcentagens de carbono (C) presente na liga E2535Nb-MA nos blocos de dados do estudo referindo-se aos dois primeiros trimestres de 2016. Utilizou-se o Teste de Kolmogorov-Smirnov para averiguar se os dados utilizados possuem distribuição normal. A tabela 5 apresenta o teste de normalidade para os dados do bloco 1.

Tabela 5 - Teste de Kolmogorov-Smirnov da % de C da liga E2535Nb-MA – bloco 1

Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra

		Carbono
N		35
Parâmetros normais ^{a,b}	Média	,4386
	Erro Desvio	,01216
Diferenças Mais Extremas	Absoluto	,175
	Positivo	,168
	Negativo	-,175
Estatística de teste		,175
Significância Sig. (2 extremidades)		,008 ^c

a. A distribuição do teste é Normal.

b. Calculado dos dados.

c. Correção de Significância de Lilliefors.

Fonte: Autoria própria, SPSS

De acordo com o teste, os dados da análise química do carbono coletados no período de janeiro a março de 2016, possuem distribuição normal. A tabela 6 mostra o teste de normalidade para os dados do bloco 2.

Tabela 6 - Teste de Kolmogorov-Smirnov da % de C da liga E2535Nb-MA – bloco 2

Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra		Carbono
N		74
Parâmetros normais ^{a,b}	Média	,4396
	Erro Desvio	,01116
Diferenças Mais Extremas	Absoluto	,188
	Positivo	,188
	Negativo	-,177
Estatística de teste		,188
Significância Sig. (2 extremidades)		,000 ^c

a. A distribuição do teste é Normal.

b. Calculado dos dados.

c. Correção de Significância de Lilliefors.

Fonte: Autoria própria, SPSS

Considerando o teste de normalidade dos dados, a análise química das porcentagens de carbono do bloco 2 possuem distribuição normal.

Confirmada a normalidade dos dados, pode-se utilizar os gráficos de controle para observações individuais, pois o mesmo é sensível à não-normalidade, e quando se tem dados com distribuição não normal, os limites de controle utilizados por este gráfico podem ser errôneos (MONTGOMERY, 2009).

Sendo assim, a construção dos gráficos de controle para medidas individuais para as porcentagens de carbono, foi realizada com o auxílio do Action Stat.

Na figura 15, o gráfico apresenta a carta de controle para medidas individuais e média móvel do Carbono do bloco 1.

Gráfico de Valores Individuais	
Limite Superior	0,465158217
Linha de centro	0,438571429
Limite Inferior	0,41198464
Gráfico de Amplitude Móvel	
Limite Superior	0,03267
Linha de centro	0,01
Limite Inferior	0
Desvio padrão	0,008862263

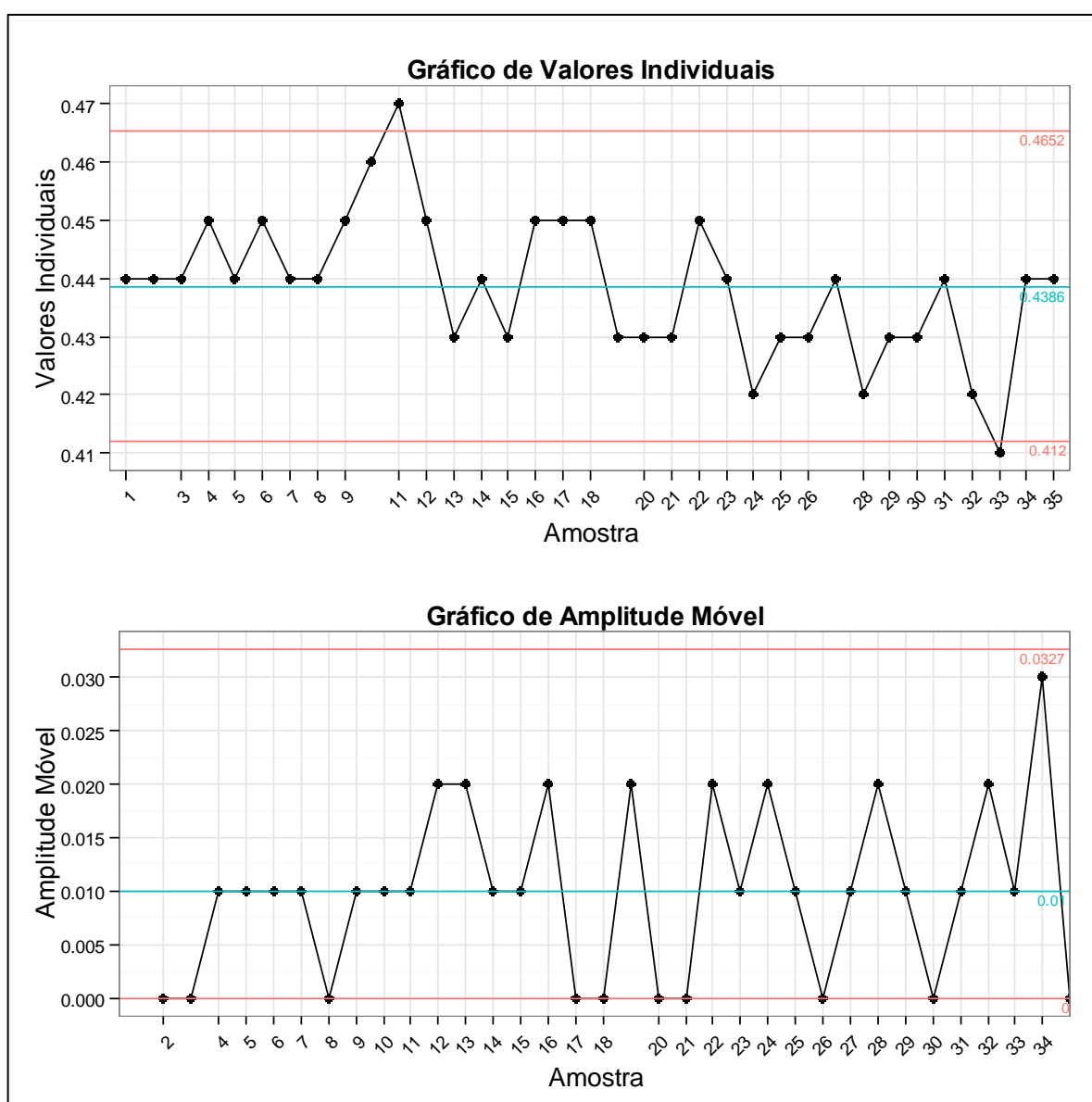


Figura 15 - Gráfico de controle para medidas individuais do carbono – bloco 1

Fonte: Autoria própria, Action Stat

Pode ser constatado no gráfico da figura 15, que a amostra 11 e a amostra 33 estão fora dos limites de controle.

Sabendo que a literatura recomenda a exclusão dos dados fora dos limites de controle, neste caso não se pode excluí-los pelo fato de não saber o motivo deles apresentarem essa característica. Se a causa desses pontos estarem fora do limites fosse conhecida, estes seriam tratados e então poderiam ser retirados do trabalho. À vista disso, para fins de estudo e pelo fato de não estarem influenciando de maneira severa nos resultados finais, os dados serão mantidos.

Com base nos dados do Action, tem-se que: $\mu_0 = 0,4386$ e $\sigma = 0,0088$, sendo assim, foi calculado o comprimento médio da sequência. Considerando $L=3$ (geralmente utilizado nos softwares e na literatura), e alterando o deslocamento em unidades de desvio padrão.

Quando a largura do gráfico for de $L=3$, o Action nos informa os valores de 0,4652 e 0,4119 para os limites de controle superior e inferior do gráfico, que foram definidos, por meio das fórmulas (39) e (40).

$$LSC = \mu_0 + L \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \quad (39)$$

$$LIC = \mu_0 - L \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \quad (40)$$

Para calcular os novos valores de média após os deslocamentos em desvio padrão, a probabilidade de ocorrência do erro tipo II, e o comprimento médio da sequência, foram utilizadas as equações 38, 35, 37 respectivamente. Obtendo-se os valores encontrados na tabela 7.

Tabela 7 - Dados referentes à $L=3$ do bloco 1

L= 3	K=1	K=2	K=3
μ	0,4474	0,4562	0,465
B	0,97725	0,84134	0,5
Poder (%)	2,28	15,87	50
CMS	43,96	6,30	2

Fonte: autoria própria

É possível observar através da tabela 7, que mantendo a largura do gráfico igual a 3, e alterando o deslocamento em unidades de desvio padrão, quanto maior o deslocamento do gráfico, menor a probabilidade de ocorrência do erro tipo 2, maior o poder do gráfico de detecção dos deslocamentos, ou seja, com um menor número de amostras é possível detectar o deslocamento (CMS).

Quando diminui a largura do gráfico para 2,5, calcula-se novamente os limites superior e inferior do gráfico, através das equações 39 e 40, sendo eles 0,4606 e 0,4166, respectivamente. É dispensável o cálculo da nova média, pois este cálculo envolve apenas a média original, os deslocamentos do gráfico e o desvio padrão original, não envolvendo a largura do gráfico. Sendo assim, será o mesmo para todas as larguras.

E, determina-se a probabilidade de ocorrência do erro tipo 2, o poder do gráfico em detectar os deslocamentos e a quantidade de amostras necessárias para essa detecção. O que pode ser visto na tabela 8.

Tabela 8 - Dados referentes à L=2,5 do bloco 1

L= 2,5	k=1	k=2	k=3
B	0,933	0,691	0,308
Poder (%)	6,7	30,85	69,14
CMS	14,92	3,24	1,45

Fonte: Autoria própria

Nota-se que, ao diminuir a largura do gráfico, reduziu a probabilidade de ocorrência do tipo 2, aumentou o poder do gráfico em detectar pequenos deslocamentos e conseqüentemente reduziu-se a quantidade de amostras necessárias para devida detecção. Este estreitamento da largura do gráfico é observado na figura 16.

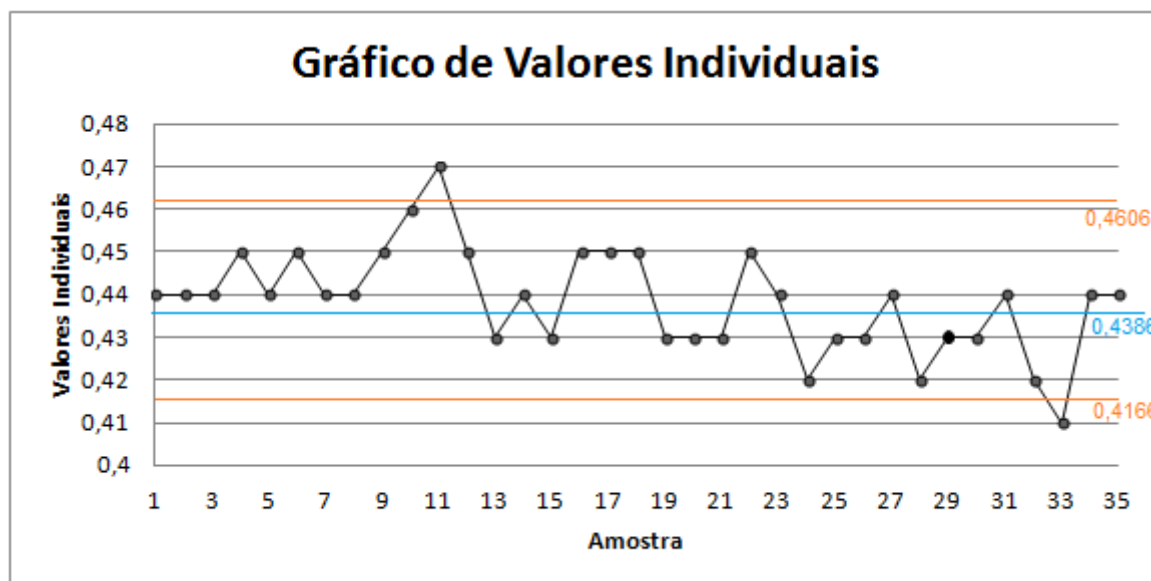


Figura 16 – Gráfico de valores individuais com L=2,5 – bloco 1

Fonte: Autoria própria

Na figura 16, observa-se que ao alterar a largura de 3 para 2,5, não teve a ocorrência de alarmes falsos.

Ao alterar a largura do gráfico para 2, os novos limites calculados são 0,4562 o limite superior de controle e 0,421 o limite inferior de controle, obtendo os resultados da tabela 9.

Tabela 9 - Dados referentes à L=2 do bloco 1

L= 2	k=1	k=2	k=3
B	0,839	0,499	0,158
Poder (%)	16	50	84,13
CMS	6,25	2	1,20

Fonte: Autoria própria

Com base nestes cálculos, pode-se dizer que quanto mais estreita for a faixa dentro dos limites de controle, maior o poder do gráfico em detectar pequenos deslocamentos do desvio padrão e menor a probabilidade de ocorrência do erro tipo II, que é de se aceitar um hipótese falsa. Na figura 17, observa-se o que ocorreu com o gráfico ao estreitar a largura.

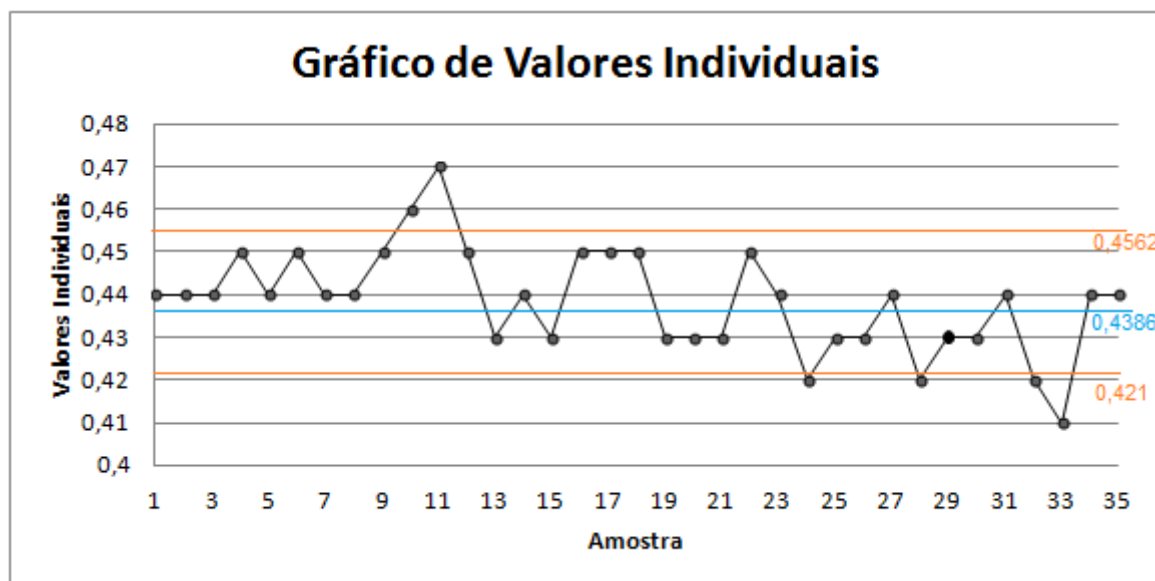


Figura 17 – Gráfico de valores individuais com L=2 – bloco 1

Fonte: Autoria própria

Na figura 17, é possível observar que ao estreitar o gráfico de 3 para 2, apareceram mais amostras fora dos limites de controle, o que evidencia a presença de alarmes falsos, mas este estudo possui como foco a melhoria na habilidade do gráfico em detectar deslocamentos no processo, e não na detecção de alarmes falsos.

O gráfico encontrado na figura 18, mostra a carta de controle para medidas individuais do carbono no bloco de dados 2, dados estes que serão utilizado para a comparação da habilidade do gráfico em detectar pequenos deslocamentos entre os dois períodos.

Gráfico de Valores Individuais	
Limite Superior	0,468002396
Linha de centro	0,439594595
Limite Inferior	0,411186794
Gráfico de Amplitude Móvel	
Limite Superior	0,034907671
Linha de centro	0,010684932
Limite Inferior	0
Desvio padrão	0,009469267

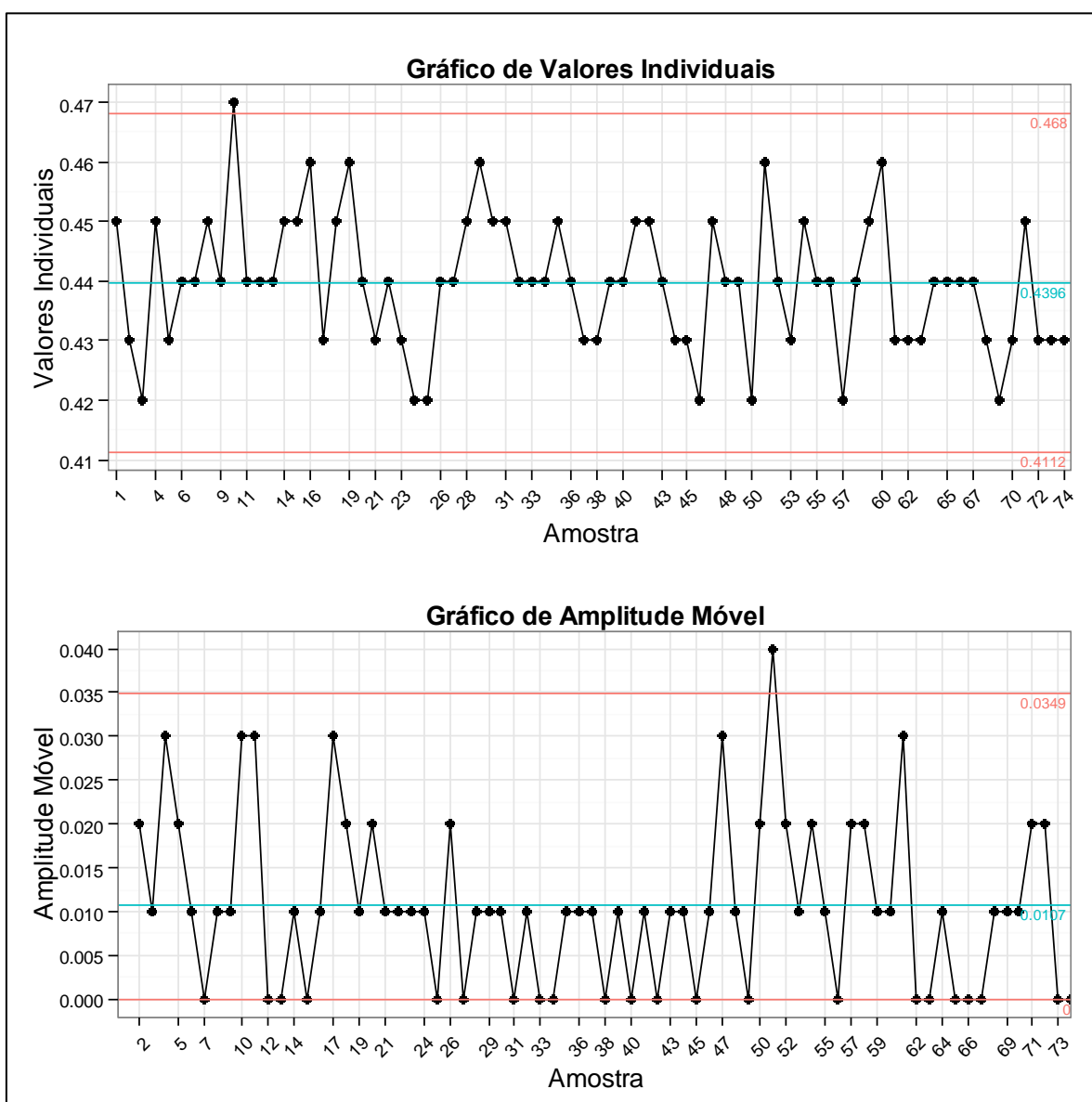


Figura 18 - Gráfico de controle para medidas individuais do carbono – bloco 2
Fonte: Autoria própria, Action Stat

A figura 18 mostra que a amostra 10 encontra-se fora dos limites de controle, novamente, esta amostra não será excluída do estudo, porque ela está fora dos limites de controle, mas dentro dos limites de especificação da norma.

Utilizando os dados do Action, $\mu_0 = 0,4396$ e $\sigma = 0,0095$. Mantendo os padrões do estudo, foi calculado o comprimento médio da sequência considerando a largura do gráfico igual a 3, e alterando o deslocamento da média em unidades de desvio padrão. Para o bloco 2, o LSC e LIC encontrados pelas fórmulas 38 e 39 foram de 0,4680 e 0,4112 respectivamente.

Os resultados obtidos para as novas médias, probabilidade de ocorrência do erro II, poder de detecção do gráfico e comprimento médio da sequência, encontram-se na tabela 10.

Tabela 10 - Dados referentes à L=3 do bloco 2

L= 3	k=1	k=2	k=3
μ	0,4491	0,4586	0,4681
B	0,977	0,84134	0,5
Poder (%)	2,28	15,87	50
CMS	43,86	6,3	2

Fonte: Autoria própria

Primeiramente, observa-se na tabela 10 a alteração nos valores das novas médias para os diferentes valores de deslocamento em unidades de desvio padrão.

Mas, os valores da probabilidade de ocorrência do erro tipo II, o poder de detecção do gráfico e o comprimento médio da sequência são os mesmos, devido ao fato de que para calcular β , os valores que influenciam são a largura do gráfico, a quantidade de deslocamentos em unidades de desvio-padrão e o tamanho da amostra. Para validar devida afirmação, calcular-se-á para as larguras de 2,5 e 2 do gráfico de controle.

Ao estreitar a largura do gráfico para 2,5. Os novos limites de controle superior e inferior do gráfico são respectivamente 0,4634 e 0,4158. E o novo valor para o comprimento médio da sequência encontra-se na tabela 11.

Tabela 11 - Dados referentes à L=2,5 do bloco 2

L= 2,5	k=1	k=2	k=3
B	0,933	0,69146	0,30854
Poder (%)	6,7	30,85	69,14
CMS	14,92	3,24	1,45

Fonte: Autoria própria

Novamente os valores do CMS foram iguais ao do bloco de dados 1. Fato este justificado pela explicação anterior. Ao estreitar o gráfico e aumentar o deslocamento em unidades de desvio padrão, aumenta-se o poder do gráfico de detecção e reduz o número de amostras necessárias para que se detecte uma não conformidade. Pode-se observar a alteração da largura do gráfico na figura 19.

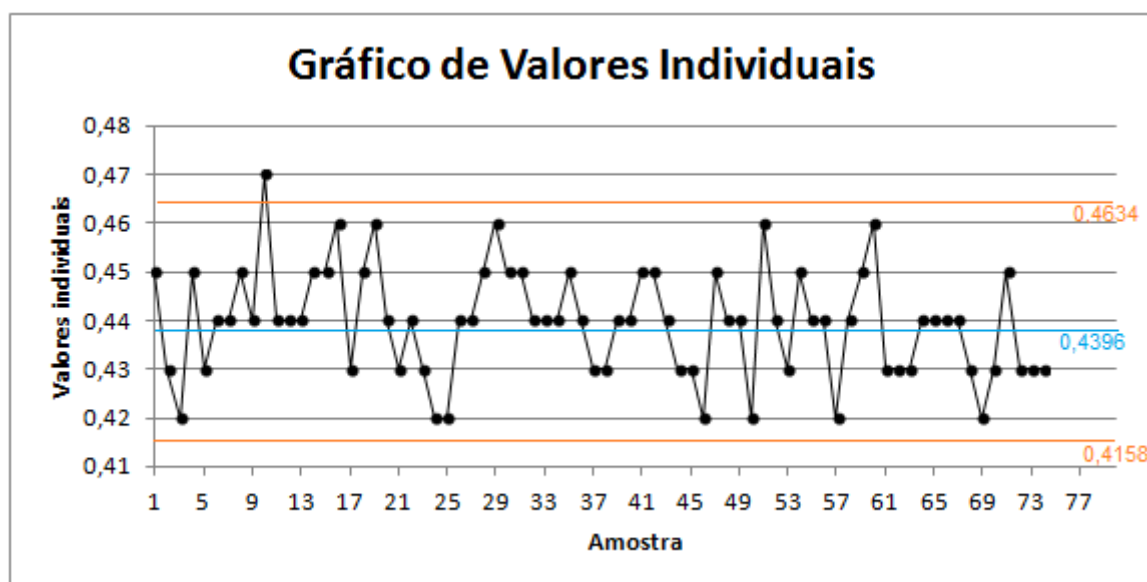


Figura 19 – Gráfico de valores individuais com L=2,5 – bloco 2

Fonte: Autoria própria

É visto no gráfico da figura 19, que não houve o surgimento de alarmes falsos, novamente pelo fato de que o objetivo do trabalho não é estudar os alarmes falsos.

Por último e não menos importante, realizar-se-á a alteração na largura do gráfico para 2. Com o LSC e LIC calculados a partir das fórmulas 38 e 39, obtendo-se os valores de 0,4586 e 0,4206 na devida ordem. Os valores de CMS estão na tabela 12.

Tabela 12 - Dados referentes à L=2 do bloco 2

L= 2	k=1	k=2	K=3
B	0,83999	0,49997	0,15866
Poder (%)	16	50	84,13
CMS	6,25	2	1,2

Fonte: Autoria própria

Visto que, os valores de β , poder de detecção do gráfico e CMS detectados através dos cálculos são os mesmo para os blocos 1 e 2 de dados. No gráfico da figura 20 observam-se as alterações no gráfico devido ao estreitamento da largura.

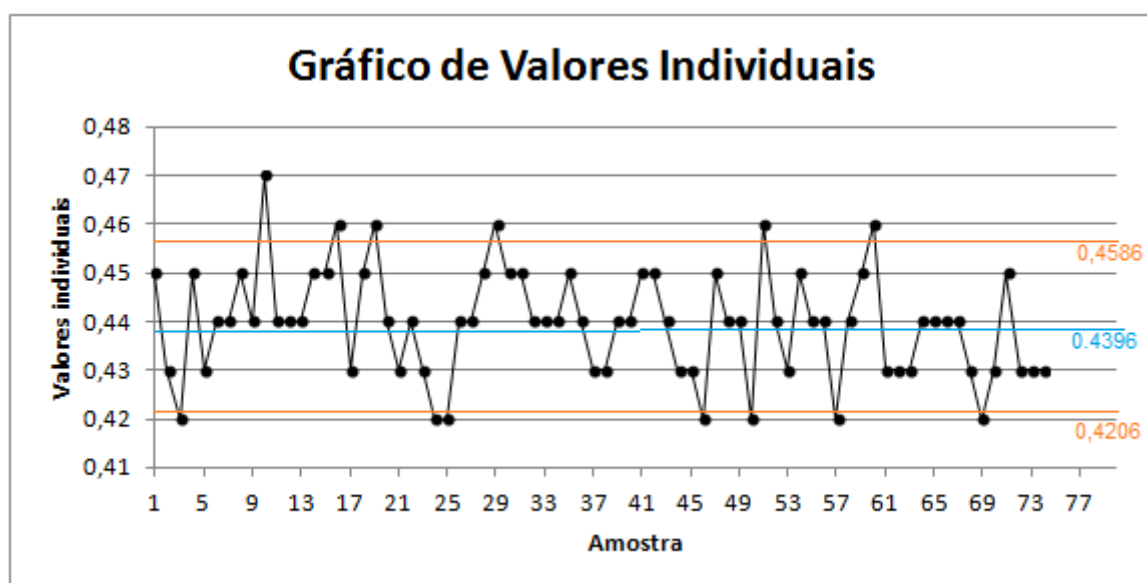


Figura 20 – Gráfico de valores individuais com L=2 – bloco 2

Fonte: Autoria própria

Na figura 20, observa-se que com um menor número de amostras será possível detectar uma não-conformidade. Mas o gráfico apresenta a ocorrência de alarmes falsos, fato este que não será abordado no estudo.

A tabela 13, mostra os diferentes valores de CMS, para os deslocamentos em unidades de desvio-padrão e para as larguras do gráfico, para os blocos de dados 1 e 2.

Tabela 13 - Tabela de comparação entre os valores de k e L para os dois blocos de dados

	L=3	L=2,5	L=2
k=1	44	15	6,24
k=2	6,3	3,25	2
k=3	2	1,5	1,2

Fonte: autoria própria

Com base na tabela 13 e nos cálculos realizados, ao manter a largura do gráfico igual a 3 e o deslocamento da média em unidades de desvio padrão igual a 1, tem-se que são necessárias aproximadamente 44 amostras para que o gráfico de controle para observações individuais detecte um pequeno deslocamento.

Ao estreitar a largura do gráfico para 2,5 e mantendo o deslocamento em unidades de desvio padrão igual a 1, observa que serão necessárias aproximadamente 15 amostras para detectar uma alteração na média do processo.

E, quando estreita-se a largura do gráfico para 2, continuando a manter o deslocamento igual a 1, tem-se a necessidade de aproximadamente 7 amostras para detectar uma não conformidade da qualidade.

Sendo assim, ao aumentar o deslocamento da média do processo, reduz o CMS, mas não é bom ter um elevado deslocamento no processo para que se detecte uma não conformidade com um menor número de amostras, depende das pretensões da empresa e de como está o processo.

Se o objetivo da empresa é detectar a não conformidade em um menor período de tempo, é interessante estreitar a largura do gráfico, e analisar o deslocamento do processo.

Deste modo, é possível afirmar a eficiência em alterar a largura do gráfico de controle para observações individuais para acentuar seu poder de detecção em pequenos deslocamentos em unidades de desvio padrão.

Para facilitar a compreensão desta relação entre o deslocamento em unidades de desvio padrão e a probabilidade de ocorrência do erro tipo II. Quando alteramos a largura do gráfico. Este gráfico pode ser observado na figura 21.

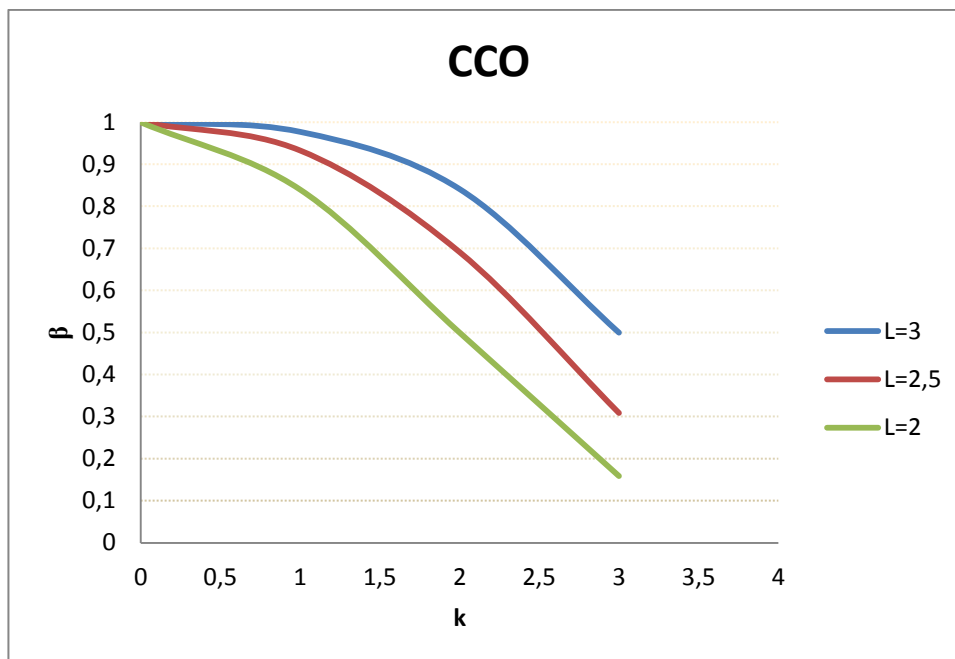


Figura 21 - Curva Característica de Operação
 Fonte: Autoria própria

Com o gráfico da figura 16, é possível analisar que quanto menor a largura do gráfico, menor os valores de β , conseqüentemente maior o poder do gráfico de detecção de pequenos deslocamentos em unidades de desvio-padrão. E através da figura 22, tem-se a relação entre o deslocamento e o número de amostras.

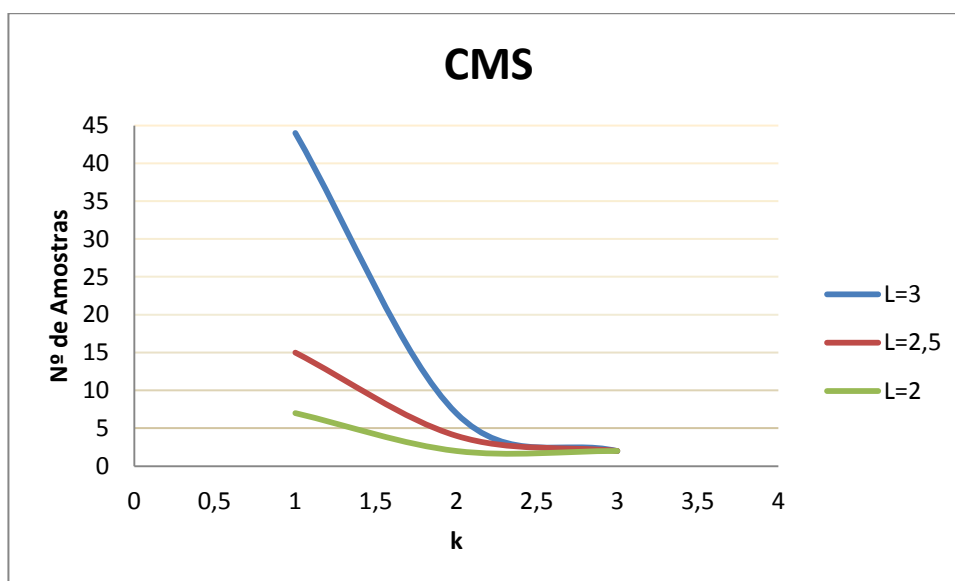


Figura 22 - Gráfico de CMS
 Fonte: Autoria própria

Independente dos dados coletados ou das amostras em estudo, ao diminuir a faixa entre os limites de controle do gráfico, alterando sua largura, aumenta-se o poder de detecção do gráfico para pequenos deslocamentos.

Um fato a ser enfatizado, é de que ao aumentar o poder de detecção do gráfico, aumentam-se também os alarmes falsos do processo. Sendo esta uma escolha gerencial, depende do que a empresa pretende, dos resultados que auxiliarão nas tomadas de decisão, encontrar uma não-conformidade em um menor período de tempo ou reduzir os alarmes falsos do processo.

Assim sendo, confirma-se que ao estreitar os limites de controle do gráfico para observações individuais, precisa-se de um menor número de amostras para se detectar um descontrole, ou uma não conformidade no processo.

Sendo este o fator mais importante, em um menor período de tempo é possível detectar o descontrole do processo. Ou seja, ao passo que quanto antes for detectada a não conformidade, é possível serem tomadas as decisões para a adequação do processo, evitando gastos com custo da qualidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foi abordado a habilidade do gráfico de controle das observações individuais, em detectar pequenos deslocamentos em unidades de desvio padrão, na análise química do carbono em um processo de fundição.

Considera-se que todos os objetivos propostos foram cumpridos. Sendo o primeiro objetivo a análise do processo produtivo, a qual foi realizada através do conhecimento obtido no período de estágio na empresa, juntamente com visitas ao processo (chão de fábrica) e conversas com os operadores e encarregados de setor.

Atendendo ao segundo objetivo, sendo a obtenção de dados da análise química, referindo-se à realizada pela empresa, a qual é feita por meio de espectrômetros, para a realização da coleta de dados da análise química do carbono foi necessária a emissão pelo CPD, do relatório do sistema informatizado de corridas do período em estudo.

Para utilizar o gráfico de controle para observações individuais como ferramenta, é necessário confirmar se a distribuição dos dados é normal, sendo assim os dados foram aplicados no software SPSS, o qual provou a normalidade dos dados.

Desta forma, com o auxílio do software Action Stat, foram gerados os gráficos de controle de valores individuais, alimentados pela coleta de dados da análise química do carbono. Sabe-se que a variabilidade dos dados pode ser baseada em causas comuns ou especiais. Neste estudo mantiveram-se os pontos fora dos limites de controle, pois o motivo de estarem fora é desconhecido, não podendo ser classificados como causa especial.

Com os dados dos apêndices A e B, foram realizados os cálculos de alteração da largura do gráfico para a verificação das melhorias geradas no CMS. Assim, observou-se o aumento do poder de detecção do gráfico, e a melhoria do CMS através da alteração da largura dos limites do gráfico.

Em virtude dos gráficos analisados e dos cálculos realizados, ao considerar dois diferentes blocos de dados, dentro dos limites de especificação da norma, com algumas exceções de amostras fora dos limites de controle, entende-se que para aumentar a habilidade do gráfico, é necessário estreitar a largura dos limites do gráfico de controle para medidas individuais.

Analisando os blocos separadamente, foi possível ponderar que ao realizar os cálculos necessários para definir o comprimento médio da sequência, alterar a largura do gráfico e os deslocamentos em unidades de desvio padrão têm-se os mesmos valores. Visto que, para este cálculo não são envolvidos o σ e a μ (variáveis independentes entre os blocos), levando em consideração apenas os valores de L, k e n (valores iguais entre os blocos).

Desta forma, ao realizar devida alteração, verifica-se a oportunidade de detectar uma não conformidade da qualidade com menor número de amostras e em menor período de tempo.

Neste estudo, observa-se que com o deslocamento de um desvio-padrão na média e alteração da largura, obteve-se uma melhoria de 85% entre a largura estabelecida pela literatura que é igual a 3, e o estreitamento para largura igual a 2. E uma melhoria de 65,9% entre a L=3 e a alteração para L=2,5, resultados estes pela diminuição do número de amostras necessárias para a detecção de uma não conformidade.

Quando tem-se o deslocamento de dois desvios-padrão da média, contata-se que há uma melhoria de 68% ao estreitar a largura do gráfico de 3 para 2. E de 38% ao alterar a largura do gráfico de 2,5 para 2.

Sendo assim, nota-se que com o deslocamento da média de três desvios-padrão, a melhoria obtida através da alteração da largura não é de grande relevância, sendo ela de 25% entre L=3 e L=2,5 e de 40% entre L=3 e L=2.

Há também a relação de *trade-off*, onde neste caso ao estreitar a largura do gráfico, aumenta-se o poder de detecção e aumenta também os deslocamentos da média, aumentando a ocorrência de alarmes falsos, então depende do que a empresa pretende, sendo esta uma decisão gerencial.

Se a empresa precisa detectar não conformidades em um curto período de tempo, deve-se utilizar o estreitamento do gráfico, mas deve-se cuidar com os alarmes falsos, e não pode despender tempo tratando uma causa especial como causa comum, ou vice-versa.

Portanto, este estudo torna-se importante uma vez que a capacidade de desempenho dos gráficos está diretamente relacionada ao deslocamento na média do processo, relacionando o poder do gráfico de detecção de pequenos deslocamentos e a probabilidade de ocorrência de erros do tipo I e II com o

comprimento médio da sequência, para a detecção de uma não conformidade da qualidade.

Com a aplicação do CEP e a utilização de suas ferramentas, é notória a redução da variabilidade do processo. Devido ao controle da mesma e tratamento dos dados quando se fizer necessário.

Sendo assim, é imprescindível que, diante dos argumentos expostos, haja a conscientização das indústrias no comprometimento com a qualidade durante o processo como um todo, o que resultará em melhorias contínuas para a empresa.

6 REFERÊNCIAS

BARROS, Aidil Jesus da Silveira; LEHFELD, Neide Aparecida de Souza. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo, v. 2, 2000.

BLAGA, PETRUTA, BOER, JOZSEF. *A More Efficient Production using Quality Tools and Human Resources management*. **Procedia Economics and Finance**. Elsevier, 2012.

BOARIN PINTO, S. H., MONTEIRO DE CARVALHO, Marly; LEE HO, Linda. **Implementação de programas de audição: um Survey em empresas de grande porte no Brasil**. Revista Gestão & Produção. v.13. 2006.

BUZZELL, R.D. & GALE, B.T. **PIMS - O Impacto das Estratégias de Mercado no Resultado das Empresas**. São Paulo, Livraria Editora Pioneira, 1991.

CARPINETTI, L. C. R., COSTA, A. F. B., EPPRECHT, E. K. **Controle Estatístico de Qualidade**. 2. Ed. – 7 reimpr. – São Paulo : Atlas, 2013.

CHIAVENATO, Idalberto; **Introdução à Teoria Geral da Administração**. São Paulo: Atlas, 2011.

CROSBY, P.B. **Quality is Free**. McGraw-Hill, New York, 1979.

DAHLGAARD, J. J., KHANJI, G. K., & KRISTENSEN, K. **Fundamentals of total quality management**. Routledge, 2008.

DEMING, W. **Qualidade: a revolução da administração**, Rio de Janeiro: Marques-Saraiva, 1990.

Equipe Estatcamp (2014). **Software Action**. Estatcamp- Consultoria em estatística e qualidade, São Carlos - SP, Brasil. URL <http://www.portalaction.com.br/>.

FEIGENBAUM, A. V. **Controle da qualidade total**. Makron Books, 1994.

FEIGENBAUM, A.V. **Total quality control**, 3. ed. New York: Mc Graw-Hill, 1986.

FERNANDES, A. A., NETO, P. L. O. C. O significado do TQM e modelos de implementação. **Gestão e Produção**, 1996.

FLOTT L. W. **What is SPC? Quality Control**. Metal Finishing Elsevier, 2002.

GARVIN, D. A. **Gerenciando a qualidade**. Rio de Janeiro : Qualitymark, 1992.

GARVIN, D.A. **Managing the quality**. New York, Free Press, 1988.

- GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- IBM Corp. Released 2013. **IBM SPSS Statistics for Windows**, Version 22.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- ISCTE. Instituto Universitário de Lisboa. **Identificação de causas pelo diagrama de espinha de peixe (Ishikawa)**. Disponível em: <<http://cadeiras.iscte.pt/PTeclII/Docs/Ishikawa.PDF>>. Acesso em 18 de outubro de 2015.
- ISHIKAWA, K. **O que é o Controle da Qualidade Total? O caminho japonês**. Prentice-Hall Inc., New York, 1985.
- JURAN, J. M. **Planejamento para a qualidade**. *Pioneira, São Paulo*, 394, 1990.
- MARTINS, R. A., NETO, P. L. O. C. **Indicadores de desempenho para a gestão pela qualidade total: uma proposta de sistematização**. *Gestão e Produção*. Dezembro, 1998.
- MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. 4th ed. reimpr. LTC, 2009.
- MONTGOMERY, D. C. **Introduction to Statistical Quality Control**. *Sixth Edition*.
- OLIVEIRA, O. J. **Gestão da Qualidade – Tópicos Avançados**. Cengage Learning Editores. 2003
- PALADINI, E. P. **Gestão da Qualidade**. Teoria e Prática. Editora Atlas: SP, 2012.
- Portal Action. Probabilidades. Distribuição Normal. Disponível em: <http://www.portalaction.com.br/probabilidades/62-distribuicao-normal>. Acessado em: 18 de outubro de 2015.
- RIBEIRO, J. L. D. R., CATEN, C. S. **Série Monográfica Qualidade: Controle Estatístico do Processo**. Fundação Empresa Escola de Engenharia de UFRGS. Rio Grande do Sul, 2012
- SALGADO, L. S., **O sistema de excelência em gestão e sua implantação em uma empresa de mineração e construção**. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2008.
- SANTOS, A. B. **Modelo de Referência para Estruturar o Programa de Qualidade Seis Sigma: proposta e avaliação**. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2006.
- SELEME, Robson; STADLER, Humberto. **Controle da qualidade: as ferramentas essenciais**. Editora Ibpex, 2008.

STAPENHURST T. **Mastering Statistical Process Control**. A Handbook for Performance Improvement Using Cases, 2012.

TAGUCHI, G., CHOWDDHURY, S., & Wu, Y. **Taguchi's quality engineering handbook**. Wiley, 2005.

TAGUE, NR. **Quality Toolbox**, *Second Edition*, American Society for Quality, *Qualidade Press*, Milwaukee, Wisconsin, 2014.

TURRIONI, J. B. **Metodologia da pesquisa em engenharia de produção**. Itajubá: UNIFEI, 2011. 202 p.

WERKEMA, C. **Criando a cultura Seis Sigma**. Rio de Janeiro: QualityMark, 2002. V. 1

ANEXO A - Fatores para a construção do gráfico de controle para variáveis

Factors for Constructing Variables Control Charts

Observations in	Chart for Averages				Chart for Standard Deviations						Chart for Ranges					
	Factors for Control Limits		Factors for Center Line		Factors for Control Limits			Factors for Center Line			Factors for Control Limits					
	A	A ₂	A ₃	c ₄	1/c ₄	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	d ₂	1/d ₂	d ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄
2	1.21	1.880	2.659	0.7979	1.2533	0	3.267	0	2.606	1.128	0.8865	0.853	0	3.686	0	3.267
3	1.732	1.023	1.954	0.8862	1.1284	0	2.568	0	2.276	1.693	0.5907	0.888	0	4.358	0	2.574
4	1.500	0.729	1.628	0.9213	1.0854	0	2.266	0	2.088	2.059	0.4857	0.880	0	4.698	0	2.282
5	1.342	0.577	1.427	0.9400	1.0638	0	2.089	0	1.964	2.326	0.4299	0.864	0	4.918	0	2.114
6	1.225	0.483	1.287	0.9515	1.0510	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.3946	0.848	0	5.078	0	2.004
7	1.134	0.419	1.182	0.9594	1.0423	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.3698	0.833	0.204	5.204	0.076	1.924
8	1.061	0.373	1.099	0.9650	1.0363	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.3512	0.820	0.388	5.306	0.136	1.864
9	1.000	0.337	1.032	0.9693	1.0317	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.3367	0.808	0.547	5.393	0.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.9727	1.0281	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.3249	0.797	0.687	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.285	0.927	0.9754	1.0252	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.3152	0.787	0.811	5.535	0.256	1.744
12	0.866	0.266	0.886	0.9776	1.0229	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.3069	0.778	0.922	5.594	0.283	1.717
13	0.832	0.249	0.850	0.9794	1.0210	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.2998	0.770	1.025	5.647	0.307	1.693
14	0.802	0.235	0.817	0.9810	1.0194	0.406	1.594	0.399	1.563	3.407	0.2935	0.763	1.118	5.696	0.328	1.672
15	0.775	0.223	0.789	0.9823	1.0180	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.2880	0.756	1.203	5.741	0.347	1.653
16	0.750	0.212	0.763	0.9835	1.0168	0.448	1.552	0.440	1.526	3.532	0.2831	0.750	1.282	5.782	0.363	1.637
17	0.728	0.203	0.739	0.9845	1.0157	0.466	1.534	0.458	1.511	3.588	0.2787	0.744	1.356	5.820	0.378	1.622
18	0.707	0.194	0.718	0.9854	1.0148	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.2747	0.739	1.424	5.856	0.391	1.608
19	0.688	0.187	0.698	0.9862	1.0140	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.2711	0.734	1.487	5.891	0.403	1.597
20	0.671	0.180	0.680	0.9869	1.0133	0.510	1.490	0.504	1.470	3.735	0.2677	0.729	1.549	5.921	0.415	1.585
21	0.655	0.173	0.663	0.9876	1.0126	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.2647	0.724	1.605	5.951	0.425	1.575
22	0.640	0.167	0.647	0.9882	1.0119	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.2618	0.720	1.659	5.979	0.434	1.566
23	0.626	0.162	0.633	0.9887	1.0114	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.2592	0.716	1.710	6.006	0.443	1.557
24	0.612	0.157	0.619	0.9892	1.0109	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.2567	0.712	1.759	6.031	0.451	1.548
25	0.600	0.153	0.606	0.9896	1.0105	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	0.2544	0.708	1.806	6.056	0.459	1.541

For $n > 25$.

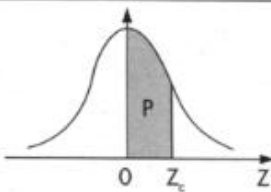
$$A = \frac{3}{\sqrt{n}} \quad A_3 = \frac{3}{c_4 \sqrt{n}} \quad c_4 = \frac{4(n-1)}{4n-3}$$

$$B_3 = 1 - \frac{3}{c_4 \sqrt{2(n-1)}} \quad B_4 = 1 + \frac{3}{c_4 \sqrt{2(n-1)}}$$

$$B_5 = c_4 - \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}} \quad B_6 = c_4 + \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}}$$

ANEXO B - Tabela de Distribuição Normal Padrão

Tabela III – Distribuição Normal Padrão
 $Z \sim N(0, 1)$
 Corpo da tabela dá a probabilidade p , tal que $p = P(0 < Z < Z_c)$



parte inteira e primeira decimal de Z_c	Segunda decimal de Z_c										parte inteira e primeira decimal de Z_c
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	$p = 0$										
0,0	00000	00399	00798	01197	01595	01994	02392	02790	03188	03586	0,0
0,1	03983	04380	04776	05172	05567	05962	06356	06749	07142	07535	0,1
0,2	07926	08317	08706	09095	09483	09871	10257	10642	11026	11409	0,2
0,3	11791	12172	12552	12930	13307	13683	14058	14431	14803	15173	0,3
0,4	15542	15910	16276	16640	17003	17364	17724	18082	18439	18793	0,4
0,5	19146	19497	19847	20194	20540	20884	21226	21566	21904	22240	0,5
0,6	22575	22907	23237	23565	23891	24215	24537	24857	25175	25490	0,6
0,7	25804	26115	26424	26730	27035	27337	27637	27935	28230	28524	0,7
0,8	28814	29103	29389	29673	29955	30234	30511	30785	31057	31327	0,8
0,9	31594	31859	32121	32381	32639	32894	33147	33398	33646	33891	0,9
1,0	34134	34375	34614	34850	35083	35314	35543	35769	35993	36214	1,0
1,1	36433	36650	36864	37076	37286	37493	37698	37900	38100	38298	1,1
1,2	38493	38686	38877	39065	39251	39435	39617	39796	39973	40147	1,2
1,3	40320	40490	40658	40824	40988	41149	41309	41466	41621	41774	1,3
1,4	41924	42073	42220	42364	42507	42647	42786	42922	43056	43189	1,4
1,5	43319	43448	43574	43699	43822	43943	44062	44179	44295	44408	1,5
1,6	44520	44630	44738	44845	44950	45053	45154	45254	45352	45449	1,6
1,7	45543	45637	45728	45818	45907	45994	46080	46164	46246	46327	1,7
1,8	46407	46485	46562	46638	46712	46784	46856	46926	46995	47062	1,8
1,9	47128	47193	47257	47320	47381	47441	47500	47558	47615	47670	1,9
2,0	47725	47778	47831	47882	47932	47982	48030	48077	48124	48169	2,0
2,1	48214	48257	48300	48341	48382	48422	48461	48500	48537	48574	2,1
2,2	48610	48645	48679	48713	48745	48778	48809	48840	48870	48899	2,2
2,3	48928	48956	48983	49010	49036	49061	49086	49111	49134	49158	2,3
2,4	49180	49202	49224	49245	49266	49286	49305	49324	49343	49361	2,4
2,5	49379	49396	49413	49430	49446	49461	49477	49492	49506	49520	2,5
2,6	49534	49547	49560	49573	49585	49598	49609	49621	49632	49643	2,6
2,7	49653	49664	49674	49683	49693	49702	49711	49720	49728	49736	2,7
2,8	49744	49752	49760	49767	49774	49781	49788	49795	49801	49807	2,8
2,9	49813	49819	49825	49831	49836	49841	49846	49851	49856	49861	2,9
3,0	49865	49869	49874	49878	49882	49886	49889	49893	49897	49900	3,0
3,1	49903	49906	49910	49913	49916	49918	49921	49924	49926	49929	3,1
3,2	49931	49934	49936	49938	49940	49942	49944	49946	49948	49950	3,2
3,3	49952	49953	49955	49957	49958	49960	49961	49962	49964	49965	3,3
3,4	49966	49968	49969	49970	49971	49972	49973	49974	49975	49976	3,4
3,5	49977	49978	49978	49979	49980	49981	49981	49982	49983	49983	3,5
3,6	49984	49985	49985	49986	49986	49987	49987	49988	49988	49989	3,6
3,7	49989	49990	49990	49990	49991	49991	49992	49992	49992	49992	3,7
3,8	49993	49993	49993	49994	49994	49994	49994	49995	49995	49995	3,8
3,9	49995	49995	49996	49996	49996	49996	49996	49996	49997	49997	3,9
4,0	49997	49997	49997	49997	49997	49997	49998	49998	49998	49998	4,0
4,5	49999	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	4,5

Fonte: Montgomery, 2009

APÊNDICE A – Tabela dos dados coletados – bloco 1

		Heat Number Corrida	Alloy	Liga	%C
1	06/01/16	44154	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,44
2	07/01/16	44167	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,44
3	08/01/16	44169	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,44
4	08/01/16	44170	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,45
5	11/01/16	44179	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,44
6	13/01/16	44180	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,45
7	12/01/16	44185	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,44
8	12/01/16	44186	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,44
9	13/01/16	44189	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,45
10	12/01/16	44190	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,46
11	12/01/16	44191	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,47
12	13/01/16	44192	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,45
13	14/01/16	44205	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,43
14	14/01/16	44206	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,44
15	15/01/16	44219	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,43
16	18/01/16	44229	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,45
17	19/01/16	44236	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,45
18	19/01/16	44237	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,45
19	21/01/16	44256	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,43
20	21/01/16	44264	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,43
21	28/01/16	44311	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,43
22	28/01/16	44312	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,45
23	29/01/16	44320	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,44
24	09/03/16	44548	E2535NB-MA		0,42
25	09/03/16	44549	E2535NB-MA		0,43
26	09/03/16	44550	E2535NB-MA		0,43
27	10/03/16	44563	E2535NB-MA		0,44
28	24/03/2016	44658	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,42
29	28/03/2016	44671	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,43
30	28/03/2016	44672	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,43
31	28/03/2016	44673	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,44
32	29/03/2016	44684	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,42
33	31/03/2016	44699	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,41
34	31/03/2016	44701	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,44
35	31/03/2016	44702	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,44

APÊNDICE B – Tabela dos dados coletados – bloco 2

		Heat Number Corrida	Alloy	Liga	%C
1	01/04/16	44707	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,45
2	04/04/16	44717	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,43
3	04/04/16	44718	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,42
4	05/04/16	44728	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,45
5	05/04/16	44729	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,43
6	05/04/16	44730	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,44
7	06/04/16	44736	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,44
8	06/04/16	44737	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,45
9	13/04/16	44788	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,44
10	18/04/16	44845	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,47
11	19/04/16	44859	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,44
12	19/04/16	44860	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,44
13	19/04/16	44861	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,44
14	20/04/16	44863	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,45
15	20/04/16	44864	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,45
16	20/04/16	44865	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,46
17	21/04/16	44874	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,43
18	25/04/16	44875	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,45
19	26/04/16	44893	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,46
20	28/04/16	44894	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,44
21	28/04/16	44908	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,43
22	02/05/16	44925	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,44
23	10/05/16	44991	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,43
24	19/05/16	45070	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,42
25	20/05/16	45078	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,42
26	10/06/16	45215	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,44
27	13/06/16	45218	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,44
28	13/06/16	45226	E2535NB-MA		0,45
29	13/06/16	45227	E2535NB-MA		0,46
30	13/06/16	45228	E2535NB-MA		0,45
31	13/06/16	45229	E2535NB-MA		0,45
32	14/06/16	45236	E2535NB-MA		0,44
33	14/06/16	45237	E2535NB-MA		0,44
34	14/06/16	45238	E2535NB-MA		0,44
35	14/06/16	45239	E2535NB-MA		0,45
36	14/06/16	45240	E2535NB-MA		0,44
37	14/06/16	45241	E2535NB-MA		0,43
38	14/06/16	45242	E2535NB-MA		0,43
39	15/06/16	45251	E2535NB-MA		0,44
40	15/06/16	45252	E2535NB-MA		0,44
41	15/06/16	45253	E2535NB-MA		0,45
42	15/06/16	45254	E2535NB-MA		0,45

		Heat Number Corrida	Alloy	Liga	%C
43	15/06/16	45255	E2535NB-MA		0,44
44	15/06/16	45256	E2535NB-MA		0,43
45	15/06/16	45257	E2535NB-MA		0,43
46	15/06/16	45258	E2535NB-MA		0,42
47	16/06/16	45266	E2535NB-MA		0,45
48	16/06/16	45267	E2535NB-MA		0,44
49	16/06/16	45268	E2535NB-MA		0,44
50	16/06/16	45269	E2535NB-MA		0,42
51	16/06/16	45270	E2535NB-MA		0,46
52	16/06/16	45271	E2535NB-MA		0,44
53	16/06/16	45272	E2535NB-MA		0,43
54	16/06/16	45273	E2535NB-MA		0,45
55	20/06/16	45275	E2535NB-MA		0,44
56	17/06/16	45279	E2535NB-MA		0,44
57	17/06/16	45280	E2535NB-MA		0,42
58	17/06/16	45281	E2535NB-MA		0,44
59	17/06/16	45282	E2535NB-MA		0,45
60	17/06/16	45283	E2535NB-MA		0,46
61	17/06/16	45284	E2535NB-MA		0,43
62	17/06/16	45285	E2535NB-MA		0,43
63	17/06/16	45286	E2535NB-MA		0,43
64	17/06/16	45287	E2535NB-MA		0,44
65	20/06/16	45288	E2535NB-MA		0,44
66	20/06/16	45294	E2535NB-MA		0,44
67	22/06/16	45295	E2535NB-MA		0,44
68	22/06/16	45299	E2535NB-MA		0,43
69	22/06/16	45305	E2535NB-MA		0,42
70	22/06/16	45307	E2535NB-MA		0,43
71	22/06/16	45308	E2535NB-MA		0,45
72	23/06/16	45314	E2535NB-MA		0,43
73	27/06/16	45336	E2535NB-MA (25CR 35NI NB - MA)		0,43
74	27/06/16	45337	E2535NB-MA		0,43