

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR - MG**  
**CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**  
**ELI CARLOS FERREIRA DINIZ**

**CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO DE CALCINAÇÃO: UM ESTUDO DE  
CASO EM UMA EMPRESA DO CENTRO OESTE DE MINAS GERAIS**

**FORMIGA – MG**  
**2017**

ELI CARLOS FERREIRA DINIZ

CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO DE CALCINAÇÃO: UM ESTUDO DE  
CASO EM UMA EMPRESA DO CENTRO OESTE DE MINAS GERAIS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de Engenharia de Produção do UNIFOR-  
MG, como requisito parcial para a obtenção do  
título de Engenheiro de Produção.

Orientador: Prof. Me. Elifas Levi da Silva

FORMIGA – MG

2017

Eli Carlos Ferreira Diniz

CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO DE CALCINAÇÃO: UM ESTUDO DE  
CASO EM UMA EMPRESA DO CENTRO OESTE DE MINAS GERAIS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de Engenharia de Produção do UNIFOR-  
MG, como requisito parcial para a obtenção do  
título de Engenheiro de Produção.

Orientador: Prof. Me. Elifas Levi da Silva

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Me. Elifas Levi da Silva

Orientador

---

Prof. Carlyle Garcia Ribeiro

UNIFOR

Formiga, 10 de novembro de 2017.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por abençoar esta vitória, pois sem ele, nada seria possível.

Aos meus pais, Aparecida e Carlinhos, e aos meus irmãos Elisângela e Alair pelos ensinamentos, incentivos, amor e carinho e que nunca mediram esforços para que eu chegasse a este momento. Em especial aos meus pais que tinham um sonho de ver seu filho formado, pois este sonho virou realidade.

Agradeço a minha namorada pelo apoio e paciência nas horas difíceis. Agradeço também à empresa e aos colegas de trabalho, que colaboraram para realização e sucesso deste trabalho.

Aos meus professores do Unifor pelos ensinamentos e apoio nos momentos em que precisei, especialmente ao meu orientador Elifas, pelo suporte, dedicação e incentivo durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos que torceram e lutaram comigo. Enfim, a todos que de maneira direta e indiretamente me ajudaram, muito obrigado!

Dedico esta conquista a todos vocês.

## RESUMO

No mercado competitivo de produtos e serviços, a qualidade é um fator muito importante para se obter vantagens. O objetivo das empresas em termos de qualidade será o de fornecer produtos e serviços seguros e ter a satisfação de todos os seus consumidores. E para que isso aconteça, umas das principais ferramentas utilizadas e de muita importância, é o Controle Estatístico de Processo (CEP) em toda a fase produtiva. Com isso, este trabalho apresenta a aplicação das ferramentas da qualidade para que se possa fazer uma análise das falhas no processo produtivo de uma empresa de calcinação localizada no centro oeste de Minas Gerais. Foi feita uma análise profunda e detalhada nas etapas do processo, buscando encontrar as possíveis causas de falhas que estão interferindo na qualidade da cal produzida, tendo em foco principal o parâmetro de perda por calcinação (PPC), que é um dos fatores mais importantes na qualidade da cal. Conseqüentemente foram sugeridas propostas de melhoria no processo.

Palavras-Chave: Qualidade. Ferramentas da qualidade. Processo produtivo. Processo de calcinação.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Box plot .....	27
Figura 2 - Análise da capacidade de processo .....	30
Figura 3 - Análise crítica de um fluxograma de processo.....	34
Figura 4 - Diagrama de causa e efeito (ou diagrama de Ishikawa) .....	35
Figura 5 - Exemplo de diagrama de causa e efeito – Problema de manufatura.....	36
Figura 6 - Histograma.....	39
Figura 7 - Diagrama de pesquisa .....	44
Figura 8 - Pesagem das amostras .....	46
Figura 9 - Amostras colocadas para calcinar .....	47
Figura 10 - Amostras calcinando a 1000°C.....	47
Figura 11 - Amostras resfriando .....	48
Figura 12 - Fluxograma das etapas do processo de calcinação .....	50
Figura 13 - Diagrama de causa e efeito .....	61
Figura 14 - Matriz de esforço e impacto .....	63

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características do Produto x Ausência de Deficiências .....	16
Quadro 2 - Símbolos básicos para a construção do fluxograma .....	33
Quadro 3 - Símbolos básicos para a construção do fluxograma .....	37
Quadro 4 - Algumas aplicações da cal .....	43
Quadro 5 - Plano de ação 5W1H .....	64

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Exemplo de processo sob controle.....	24
Gráfico 2 - Exemplo 1 de processo fora de controle .....	24
Gráfico 3 - Exemplo 2 de processo fora de controle .....	24
Gráfico 4 - Exemplo 3 de processo fora de controle .....	25
Gráfico 5 - Exemplo 4 de processo fora de controle .....	25
Gráfico 6 - Exemplo 5 de processo fora de controle .....	26
Gráfico 7 - Resultados de PPC referentes ao 1º turno.....	51
Gráfico 8 - Resultados de PPC referentes ao 2º turno.....	52
Gráfico 9 - Resultados de PPC referentes ao 3º turno.....	52
Gráfico 10 - Boxplot do processo .....	53
Gráfico 11 - Teste de normalidade dos dados.....	54
Gráfico 12 - Análise da capacidade do processo .....	56
Gráfico 13 - Histograma de capacidade .....	57
Gráfico 14 - Gráfico da capacidade.....	57
Gráfico 15 - Histograma do processo.....	58
Gráfico 16 - Gráfico de controle - 1º turno.....	59
Gráfico 17 - Gráfico de controle - 2º turno.....	60
Gráfico 18 - Gráfico de controle - 3º turno.....	60



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Capacidade do processo em relação ao Cpk.....	29
Tabela 2 - Folha de verificação .....	32
Tabela 3 - Exemplo de plano de ação.....	40
Tabela 4 - Dados - Gráfico Boxplot .....	53
Tabela 5 - Verificação da distribuição .....	55
Tabela 6 - Matriz de causa e efeito .....	62

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	12
2.	OBJETIVOS .....	13
2.1.	Objetivo Geral.....	13
2.2.	Objetivos Específicos .....	13
3.	JUSTIFICATIVA .....	13
4.	PROBLEMA.....	14
5.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
5.1.	História da Qualidade .....	15
5.2.	Controle Estatístico de Processos .....	17
5.3.	Carta controle ou gráfico de controle.....	20
5.3.3.	Interpretação das cartas de controle .....	23
5.4.	Box plot .....	26
5.5.	Capacidade do processo.....	27
5.6.	Ferramentas da qualidade utilizadas em Kaizen de processos.....	30
5.6.1.	Folha de verificação.....	31
5.6.2.	Fluxograma ou diagrama de processo .....	32
5.6.3.	Diagrama de causa e efeito ou Diagrama de Ishikawa.....	34
5.6.4.	Matriz de Causa e Efeito .....	36
5.6.5.	Matriz de Esforço e Impacto .....	37
5.6.6.	Histograma.....	37
5.6.7.	Plano de ação (5W2H) .....	39
5.7.	Processo de calcinação para obtenção da cal .....	40
6.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	43
6.1.	Local do estudo.....	45
6.2.	Escolha da amostra .....	45
6.3.	Método de coleta de dados .....	45
6.3.1.	Determinação da perda por calcinação (PPC).....	46
6.4.	Método de análise .....	48
7.	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	49
7.1.	Análise do processo de calcinação da empresa.....	49
7.1.1.	Fluxograma do processo.....	49
7.1.2.	Folha de verificação.....	50

7.1.3.	Análise do PPC .....	51
7.1.4.	Boxplot .....	52
7.1.5.	Capabilidade e Capacidade do processo .....	54
7.1.6.	Histograma .....	58
7.1.7.	Gráfico de controle.....	59
7.1.8.	Diagrama de causa ou efeito .....	61
7.1.9.	Matriz de causa e efeito .....	61
7.1.10.	Matriz de esforço e impacto .....	62
7.1.11.	Plano de ação (5W1H) .....	63
8.	CONCLUSÕES .....	65
	REFERÊNCIAS.....	66
	ANEXO A - Histórico da qualidade.....	71
	ANEXO B - Fatores para construção de gráficos de controle para variáveis .....	72
	APÊNDICE A - Folha de verificação referente aos resultados de PPC..	73

## 1. INTRODUÇÃO

A qualidade dos produtos a serem consumidos pelos clientes é um fator cada vez mais relevante no mercado, pois consegue oferecer as organizações um diferencial em relação as outras. A garantia da qualidade tem sido busca incessante pelas empresas para que possam garantir sua sustentação no mercado. As organizações buscam sempre a qualidade juntamente com a melhoria de seus processos, produtos e serviços, através de técnicas e ferramentas que possam trazer benefícios durante o gerenciamento dos recursos, visando maior lucratividade e confiabilidade dos clientes.

Diante deste aspecto, o controle estatístico de processo (CEP) surge como uma ferramenta de análise, que tem sido bastante eficaz nas diversas atividades, quando se tem como objetivo obter controles de qualidade dentro da organização. Ele permite avaliar o processo e garantir maior confiabilidade no produto final, sendo capaz de aperfeiçoar o processo, gerando planos de ações de modo a reduzir ou eliminar as causas dos problemas identificados.

As ferramentas de qualidade existentes, quando aplicadas de forma correta, são fundamentais na melhoria do processo. Contudo, elas formam um conjunto de ferramentas estatísticas, que são usadas com a finalidade de melhoria contínua no processo, serviços e na qualidade do produto final. (ALVAREZ, 2001).

Para demonstrar a aplicação do controle estatístico do processo (CEP) dentro de uma organização, foi realizado um estudo de caso em uma empresa de calcinação situada no centro oeste de Minas Gerais. Tendo como finalidade coletar dados que possam ser usados para identificar e analisar as variações da qualidade. Principalmente o parâmetro da perda por calcinação (PPC) na cal produzida, que é um dos parâmetros primordiais a ser analisado, pois este, quando fora dos limites de especificação, faz com que toda a qualidade da cal seja comprometida.

Com os resultados obtidos após a análise dos dados, utilizando o CEP, foi possível ter um melhor entendimento do processo e de suas não conformidades, aplicando assim, o plano de ação sugerindo melhorias no fluxo do processo produtivo.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho é introduzir o controle estatístico do processo na fabricação da cal, com o intuito de reduzir a variação do processo, buscando atender sempre as especificações do cliente e com o menor custo de produção.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Organizar os dados coletados de forma a serem aplicados as ferramentas do controle estatístico do processo;
- Encontrar as não conformidades do processo;
- Dimensionar parâmetros com os resultados encontrados em busca de uma menor variação dentro do processo;
- Propor as devidas melhorias para que sejam implantadas no processo produtivo, buscando se obter qualidade constante no produto, e que atenda todas as especificações impostas pelos clientes;
- Analisar as causas da variação na perda por calcinação (PPC) da cal existente no processo, que fazem com que o mesmo fique fora das especificações impostas;
- Introduzir as cartas de controle como ferramenta para o auxílio do controle da qualidade dentro do processo.

## **3. JUSTIFICATIVA**

Para uma empresa se garantir no mercado é preciso ser competitiva e ter qualidade. Esses são importantes fundamentos para sobrevivência em um mercado competitivo. A procura da excelência deve ser sempre exigida, só assim a empresa conseguirá se consolidar no mercado.

O objetivo de uma organização é atender todas as expectativas de seus clientes. E para atender a essa satisfação, é necessário que se consiga atender todas as suas exigências. Com isso, é de suma importância, que se tenha todo o controle

do processo de produção o mais estável possível, garantindo assim a qualidade do produto que chega ao seu consumidor.

O principal parâmetro analisado na cal que chega ao cliente, onde será utilizada na aciaria, é a perda por calcinação (PPC), que significa o quanto a pedra de cal pode perder após ser levada novamente a uma alta temperatura. Este requisito terá sempre que estar dentro das especificações impostas, pois seu desvio acima do limite superior imposto pode impactar no processo de fabricação do aço, causando retardos ou até anomalias no produto final.

Diante desta situação, surgiu o Controle Estatístico de Processo (CEP), que após a sua implantação dentro do processo de calcinação da cal poderá evitar ou amenizar problemas que possam ocorrer comprometendo a qualidade do produto enviado ao cliente.

#### **4. PROBLEMA**

A alta variação da qualidade durante o processo de calcinação da cal, traz uma insegurança muito grande em relação a qualidade do produto que está chegando ao cliente. Podendo assim, gerar problemas e até a suspensão do fornecimento do mesmo.

A falta de ferramentas da qualidade impede que a empresa tenha um controle mais rígido sobre seu processo produtivo, impossibilitando o registro e a análise correta das não conformidades existentes no processo. A inexistência dessas informações, afeta diretamente a produtividade, os lucros e a competitividade no mercado.

A perda por calcinação (PPC) da cal é um dos principais indicadores de qualidade da mesma. No processo em estudo, este indicador tem uma grande variação, que ultrapassa em alguns momentos os limites superiores de especificação impostos, comprometendo assim a qualidade da cal produzida.

Com isso, necessita-se saber as seguintes informações: quais as etapas do processo de calcinação da cal que estão com maior número de não conformidades impactando diretamente na produtividade da empresa?

## 5. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão demonstradas as teorias de embasamento contidas neste trabalho, para um melhor entendimento do estudo realizado.

### 5.1. História da Qualidade

A história da qualidade teve início durante o ano de 1900, quando foram desenvolvidos os primeiros gráficos de controle, criados W. Shewhart. (PALADINI,1995).

Segundo Alvarez (2001) as primeiras tarefas a serem realizadas no que desrespeito a qualidade, aconteceram nos Estados Unidos, em 1920. Após quatro anos, foi desenvolvido o departamento de Engenharia de Inspeção pela empresa americana Western Electric.

Em 1950, a preocupação com a qualidade deixa de ser somente do departamento específico, e passa a ser uma responsabilidade de toda a empresa em geral. (LONGO,1996).

Durante os anos 60 o Sistema de Gestão da Qualidade dava mais atenção a inspeção do produto, pois o setor da qualidade era o responsável por garantir a qualidade do produto que foi produzido. (CORRÊA; CORRÊA, 2012).

Ao contrário de como acontecia anos atrás, onde a qualidade consistia em somente eliminar os produtos não conformes, após o surgimento do controle estatístico da qualidade, dá se início à gestão corretiva. Onde começam a identificar as causas dos defeitos originados no processo, e passam a ser analisadas e corrigidas posteriormente. (BARÇANTE, 1998).

Segundo Madras (1990), a questão da qualidade se tornou um dos principais elementos chave da economia de uma nação. É o que o consumidor mais espera no produto por ele consumido. Diante disto, se faz importante a intensificação do estudo científico e desenvolvimento tecnológico, visando melhorias na qualidade de fornecimento de produtos aos consumidores.

A aplicação da abordagem do controle da qualidade atualmente tem como um dos principais objetivos, fornecer um produto que garanta a qualidade e mantenha os custos de fabricação em níveis ótimos. (MADRAS, 1990).

No mercado competitivo de produtos e serviços, a qualidade vem se tornando fundamental para se obter vantagens. E o objetivo da indústria dentro desta perspectiva, deve ser fornecer ao consumidor um produto em que a qualidade seja estudada, construída, garantida, mantida e que atenda as expectativas do consumidor com um menor custo possível. (Chaves, 1997).

Alarte e Quintanilha (2000), definem qualidade como o atendimento das necessidades dos consumidores, tanto na parte econômica, no desempenho e na segurança. Esta definição se associa ao que atende melhor as necessidades e não ao melhor ou o de maior custo.

O ANEXO A ilustra o resumo da história da qualidade.

Segundo Feigebaum (1994), o significado de qualidade não se resume apenas à conformidade com as especificações a serem verificadas por inspeção. Ela também deve ser inserida no produto desde o início de sua fabricação, atendendo os desejos e interesses dos consumidores. A qualidade sempre esteve presente em quase todos os produtos e serviços, a preocupação com o produto que chega ao consumidor e a introdução de métodos que contribuam para a melhoria do controle da qualidade, no entanto, têm sido desenvolvidas aos poucos. (MONTGOMERY, 2004).

O QUADRO 1 ilustra qual maneira as definições de qualidade aparecem na empresa, levando em consideração o que a qualidade superior pode possibilitar para que as empresas alcancem seus objetivos.

Quadro 1 - Características do Produto x Ausência de Deficiências

<b>Características dos Produtos que Atendem às Necessidades do Cliente</b>	<b>Ausência de Deficiências</b>
Aumentem a satisfação dos clientes	Reduzam os índices de erros
Tornem os produtos vendáveis	Reduzam a repetição de trabalhos e o desperdício
Enfrentam a concorrência	Reduzam as falhas no uso e os custos de garantia
Aumentam sua participação no mercado	Reduzam a insatisfação dos clientes
Obtenham receita de Vendas	Reduzam inspeções e testes
Garantem preços melhores	Reduzam o prazo para lançamento de novos produtos no mercado
O maior efeito é sobre as vendas	Aumentam rendimentos e capacidade
Normalmente a qualidade superior custa mais	Melhoram o desempenho de entregas
	O maior efeito é sobre os custos
	Normalmente a qualidade superior custa menos

Fonte: Adaptado de Juran (2001).



De acordo com Juran e Gryna (1991), a qualidade do ponto de vista dos consumidores, se resume nas características do produto. Fazendo com que ele atenda todas as suas necessidades e com isso traga a satisfação de aquisição. Também é visto pelos consumidores como qualidade, a ausência de defeitos no processo, produto ou serviços prestados.

A palavra qualidade tem-se dois significados distintos: qualidade do projeto e qualidade da conformidade. A qualidade do projeto consiste nas diferenças das especificações de produtos que tenham um uso idêntico, tendo como referência o processamento, o método a ser fabricado, a matéria prima usada, ao modelo e aos fatores de segurança. (Madras, 1990).

No entanto, a qualidade da conformidade consiste na capacidade de manter a qualidade dentro das especificações em projetos. Os procedimentos de controle da qualidade e as técnicas usadas estão relacionados diretamente com a qualidade da conformidade. Apesar de serem responsáveis pela melhoria da qualidade de projetos, ainda são resultados de consumidores e de problemas de produção. (Madras, 1990).

De acordo com Campos (1999), a aplicação das ferramentas de controle estatístico do processo, é a parte mais importante dentro do controle da qualidade total, e se torna obrigação de todos os colaboradores para que o mesmo seja eficaz. Este controle foi criado para auxiliar no processo produtivo e tem como objetivo a satisfação dos consumidores.

Afinal, para que se possa ter uma qualidade garantida, será sempre preciso eliminar todas as fontes de má qualidade, de acordo com as alterações necessárias no processo, buscando sempre uma melhoria. (OLIVEIRA et al., 2004).

## **5.2. Controle Estatístico de Processos**

No intervalo dos anos de 1900 e 1930 iniciou-se a era da inspeção, que tinha por objetivo no início apenas inspecionar os produtos acabados, afim de que os mesmos chegassem até ao consumidor sem nenhum defeito. Nenhuma ferramenta que verificasse a qualidade era utilizada. Com o aumento da complexibilidade dos processos e da concorrência no mercado, no final dos anos 20, teve início a utilização de técnicas estatísticas para o controle da qualidade dos produtos oferecidos ao mercado. (Caldeira, 1998).

De acordo com Montgomery (2004), o surgimento do controle estatístico do processo, se associa como a busca pela melhoria do controle da qualidade dos produtos, e também a redução dos desperdícios existentes no processo. Esses desperdícios envolvem tanto o setor administrativo como o operacional, tais identificados como erros em documentos, reclamações de clientes, retrabalho e descartes dos produtos. O controle estatístico da qualidade está presente em todas as fases do processo de produção, sempre com o objetivo de evitar a produção de produtos não conformes. Ao contrário da inspeção tradicional, que somente verificava a qualidade do produto acabado. (LOURENÇO FILHO, 1976).

Atualmente, os princípios do controle estatístico do processo, além de ter em sido alavancados pelos japoneses, também foram expandidos em seus procedimentos. Tentando aumentar sua eficiência, dois japoneses foram os responsáveis por esse trabalho, Taguchi e Ishikawa. (CALDEIRA, 1998).

Segundo RIBEIRO; TEM CATEN (2012), o controle estatístico do processo, mostra a imagem do processo produtivo em um todo, identificando e possibilitando o controle da variabilidade existente. Ele é realizado através da coleta de dados que irá mostrar os possíveis problemas que podem estar prejudicando o processo e tornando o sistema instável. Analisando as características de interesse e monitorando, de forma a assegurar que elas permaneçam dentro dos limites estabelecidos, informando as necessidades de melhoria e as ações que deverão ser realizadas. Com os limites definidos, os dados coletados no processo, podem ser melhor definidos quando plotados na carta de controle.

A necessidade de padronizar o processo produtivo teve consolidação com o uso da estatística como ferramenta para o controle da qualidade dos produtos. Este fato fez com que o sistema produtivo passasse a dar extrema importância na utilização das técnicas, buscando minimizar as perdas, reduzir os custos de produção e o mais importante, garantir a qualidade do produto oferecido ao cliente. (JURAN, 1998).

O uso do controle estatístico do processo resultará na utilização de gráficos de controle, estes determinam sua característica. Os gráficos de controle têm como principal objetivo demonstrar quando acontecem alterações dentro do processo de produção, e o que poderá impactar essas alterações. (CARUSO; HELENO, 2009).

De acordo com Paladini *apud* Brandestetter e Bucar (2008), o controle estatístico do processo, além de ser um conjunto de conceitos e ferramentas que fundamenta a gestão da qualidade no processo. Possui ferramentas capazes de

mostrar em forma detalhada, a análise de todo o processo produtivo e com isso propõe as melhorias necessárias para obtenção de uma melhor produtividade.

De acordo com SENAI (2000), a estatística é uma ferramenta bastante útil para quem é responsável pelo controle da qualidade do produto e do processo. A utilização das técnicas estatísticas tem o objetivo de oferecer aos tomadores de decisões, dados demonstrando o grau de confiabilidade gerado pelos controles, e os possíveis riscos que podem acontecer devido a tomada de decisão. A demonstração dos dados de controle que na maioria das vezes é mostrada através dos gráficos de controle tem o objetivo de mostrar com clareza os resultados, facilitando o entendimento e compreensão dos mesmos. Existem dois tipos de ações com o uso das técnicas estatísticas:

- Aplicação de técnicas matemáticas na análise dos dados de controle;
- Sistematização desses dados de modo a facilitar o entendimento dos mesmos, ajudando nas tomadas de decisões.

Moreira (2000) enfoca que o controle da qualidade deve ser utilizado para manter o processo dentro das especificações estabelecidas. A autor diz também que, o controle da qualidade do processo produtivo pode ser também definido como um processo que permite medir os níveis atuais da qualidade de um produto que está sendo oferecido ao consumidor. De modo que, se estes não estiverem dentro dos padrões pré-estabelecidos, deverão ser tomadas decisões a fim de corrigir todos os desvios, deixando o produto e processo dentro das conformidades. Pode se dizer que um processo está sob controle se os produtos por ele fabricados estiver dentro dos padrões desejados.

Costa *et al.* Apud Ferreira, Medeiros e Oliveira (2008), afirmam que os gráficos de controle conseguem identificar as maiores perturbações no processo, chamadas de causas especiais. Tais causas são as responsáveis por deslocar a distribuição da variável aleatória, ou seja, tirando sua média como objetivo ou também por aumentar sua dispersão. Quando isso acontece, temos o chamado processo fora de controle estatístico. Por outro lado, ainda segundo o autor, esses gráficos são capazes de mostrar todas as variações naturais do processo. Ou seja, as pequenas perturbações existentes que não chegam a afetar o processo, são chamadas as causas aleatórias, que quando existente é denominado processo sob controle estatístico.

Todos os processos por mais que sejam bem projetados, certamente existem as perturbações e um componente que faça com que exista uma variabilidade no

processo impossível de ser eliminado. Isso se denomina de variabilidade natural do processo, que é causado por várias pequenas perturbações chamadas de causas aleatórias, ao qual pouco ou nada se pode fazer para eliminá-las. Nenhum processo deixa de estar sujeito também as chamadas perturbações maiores, ou seja, denominadas de causas especiais, que tem o poder de tirar sua média do valor alvo ou aumentar sua dispersão. Uma causa especial é um modo de operação do processo, que não estando em conformidade pode ser corrigida ou eliminada. (COSTA, EPPRECHT, CARPINETTI, 2005).

Almeida *et al.* (2011), diz que os gráficos de controle têm dois objetivos principais: verificar se o processo permanece dentro das especificações. Esses gráficos são como análises do processo produtivo, onde conseguem separar as causas especiais das comuns, de acordo com os dados mostrados após plotados no gráfico. (FOLLADOR *et al.*, 2012).

A variação da qualidade dos produtos fabricados no processo industrial é comum, mesmo o processo estando sob controle. A estatística oferece ferramentas capazes de ajudar nas tomadas de decisões, mostrando os resultados de uma análise dos dados coletados no processo de forma clara e objetiva. Os experimentos, ensaios, levantamentos e análise dos dados são os principais exemplos a serem usados no controle estatístico do processo. Uma aplicação importante no processo é o estudo para a determinação da capacidade de processos em termos de produção e qualidade. (CHAVES, 1997).

As variabilidades existentes nos produtos fabricados são chamadas de “variabilidade do processo”. Se esta variação de qualidade nos produtos for de fácil percepção pelos consumidores, significa que o processo está com uma alta variação. Mas se essa variabilidade nos produtos não for percebida pelos consumidores, quer dizer que o processo está dentro da conformidade, com uma variação muito pequena. (COSTA, EPPRECHT, CARPINETTI, 2005).

### **5.3. Carta controle ou gráfico de controle**

O gráfico de controle pode ser entendido como uma comparação gráfica em relação ao desempenho de um processo com limites de especificação estabelecidos. Onde mostra os resultados através da distribuição dos pontos no gráfico, conforme o padrão aleatório e os limites de especificação impostos. Com os resultados mostrados

no gráfico, pode-se chegar a conclusão quanto a situação do processo. Se está sob controle, os pontos estão distribuídos entre o limite superior e inferior de controle, ou quando está fora de controle, é quando os pontos se distribuem acima do limite superior (LSC) ou abaixo do limite inferior (LIC). (REIS, 2001).

Os gráficos de controle são definidos como uma ferramenta visual, uma estatística utilizada para avaliar a estabilidade ou as variações de um processo, que se dão pelas causas assinaláveis ou especiais. (BALLESTERO, ALVAREZ, 2001).

Gráficos de controle podem ser usados para constatar se o processo produtivo está operando de acordo com os limites superior e inferior de especificação, ou melhor, se o processo está sob controle. (PEINADO, GRAEML, 2007).

De acordo com Carburon e Morales (2006), os gráficos de controles são formados por três linhas paralelas principais, são elas: a linha inferior do gráfico que corresponde ao limite inferior de controle (LIC); a linha central que corresponde a média e a linha superior do gráfico que corresponde ao limite superior de controle (LSC). Esses gráficos são utilizados para o registro de tendências e desempenho sequencial ou temporal de um processo, sendo capaz assim, de mostrar toda a variação de uma característica de controle da qualidade.

Corrêa e Corrêa (2008), afirma que o objetivo dos gráficos de controle é fazer com que o controle de um processo produtivo seja constante. Isso se dá com o acompanhamento do comportamento de várias medidas importantes resultantes desse processo.

De acordo com Costa, Epprecht e Carpinetti (2005), na maioria das vezes os gráficos de controle mais utilizados são os da média ( $\bar{X}$ ) e da amplitude (R). Estes monitoram uma grandeza mensurável dentro do processo, através de análises periódicas. Estes modelos de gráficos de controle citados são fáceis de construir, de simples entendimento, e essenciais para detecção de problemas. Em alguns casos, até se propõe soluções para resolução destes problemas. Esses gráficos podem ser determinantes para a melhoria da qualidade do produto, estabilidade do processo, e são capazes de reduzir drasticamente a porcentagem de itens não conformes. Pois, somente garantem a produção de itens que estejam dentro dos limites de especificação de controle. Também são indicados para controlar todos os passos dentro do processo de produção. (RODRIGUES, 1998).

Os limites de controle existentes nos gráficos em estudo, são calculados adicionando ou subtraindo a três vezes o desvio padrão. Quando todos os pontos

existentes no gráfico se encontram entre os limites, entende-se que o processo está sob controle. Porém se ao menos um ponto estiver fora destes limites, considera-se que o processo está fora de controle. (BONILLA, 1995).

### 5.3.1. Gráfico da média

Montgomery (2004), diz que nestes gráficos são mostradas as médias das amostras, com o objetivo de controlar os valores médios das características em estudo. A seleção das amostras é importante pelo fato de aumentar as chances de deslocamento na média entre as amostras em relação à média do processo, fazendo com que estes pontos sejam apontados como fora de controle.

De acordo com IQA (Instituto da qualidade automotiva) (2005), calcula-se o limite superior (LSC), o limite inferior (LIC), média e o desvio padrão do processo através das equações abaixo:

Média do subgrupo:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 \dots + X_n}{N}; \quad (1)$$

X: média da amostra.

N: número de amostras de um subgrupo.

Média global ou média das médias das amostras:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_i}{k}; \quad (2)$$

$\bar{X}$ : média do subgrupo.

K: número de subgrupos usados para determinar a média geral e a amplitude média

Estimativa do desvio padrão de X:

$$\hat{\sigma}_c = S = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (3)$$

$\bar{R}$  : amplitude média das amostras.

$d_2$  : valor tabelado em função do tamanho da amostra N (número de amostras) e é encontrado no ANEXO B.

Estimativa do desvio padrão de  $\bar{X}$ :

$$\hat{\sigma}_x = \frac{\hat{\sigma}_c}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

$\hat{\sigma}_c$ : desvio padrão de X.

$n$ : número de amostras

Características da carta de controle da média:

Linha central:

$$LC\bar{x} = \bar{\bar{X}} \quad (5)$$

Limites de controle:

$$LSC\bar{x} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} \quad (6)$$

$$LIC\bar{x} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} \quad (7)$$

$A_2$  = Valor tabelado em função do tamanho da amostra N (número de amostras) e é encontrado no ANEXO B.

**5.3.3. Interpretação das cartas de controle**

De acordo com Silva (2009), a WESTERN ELECTRIC (WE) determinou algumas regras de decisões para a identificação de padrões não aleatórios (sistemáticos) nas cartas de controle.

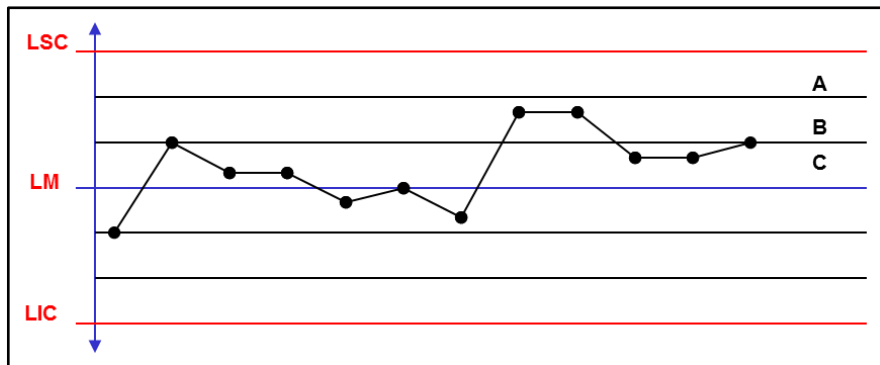
Esses padrões consistem em:

- Divisão da carta de controle em 3 zonas de alarme A, B e C de cada lado da linha da média (LM).
- Essa divisão acentua a sensibilidade das cartas de controle e permite detectar pequenas mudanças no processo.

Também, de acordo com o autor, tendo em vista essa regra, o processo está sob controle se:

Ex. 1: Se todos os pontos estiverem em torno da linha da média, sem comportamento padrão e dentro dos limites de controle LSC e LIC, entende-se que o processo está sob controle. (GRAF. 1).

Gráfico 1 - Exemplo de processo sob controle

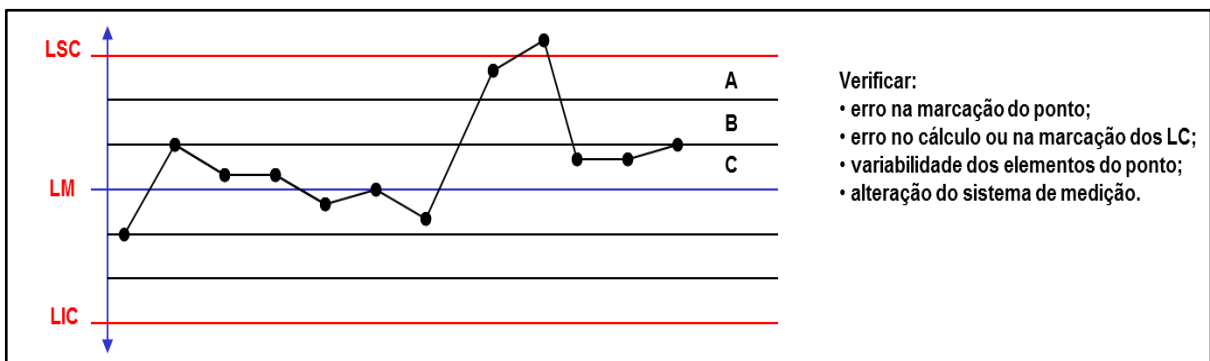


Fonte: Adaptado de Silva (2009).

E está fora de controle se:

Ex. 2: Se existirem pontos fora dos limites de controle de especificação, o processo está “fora de controle”. (GRAF. 2).

Gráfico 2 - Exemplo 1 de processo fora de controle

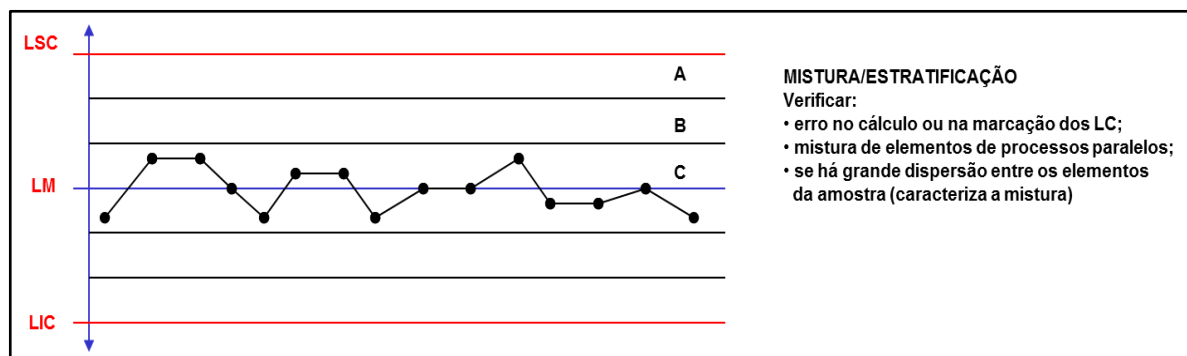


Fonte: Adaptado de Silva (2009).

Ex.3: Dentro das regiões A, B e C caracterizam processo “fora de controle” se:

- Quinze ou mais pontos sucessivos estiverem dentro da zona C. (GRAF. 3).

Gráfico 3 - Exemplo 2 de processo fora de controle

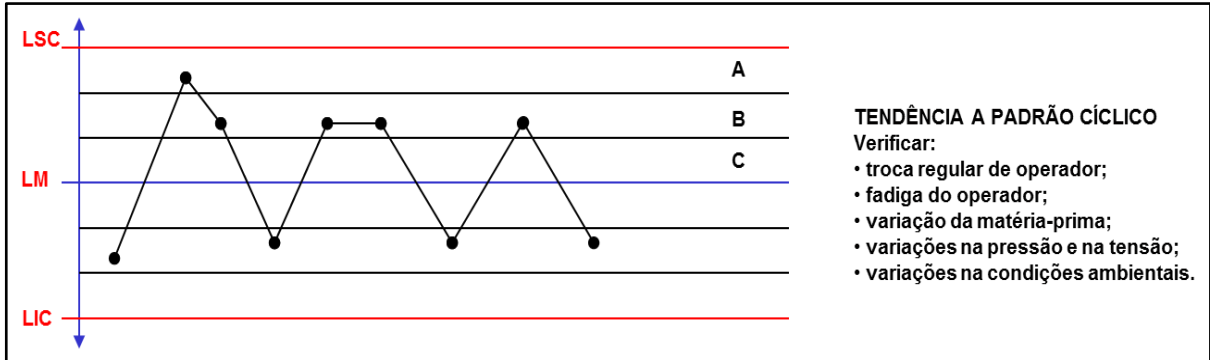


Fonte: Adaptado de Silva (2009).



- Oito pontos sucessivos estiverem de ambos os lados da linha média e nenhum deles na zona C. (GRAF. 4).

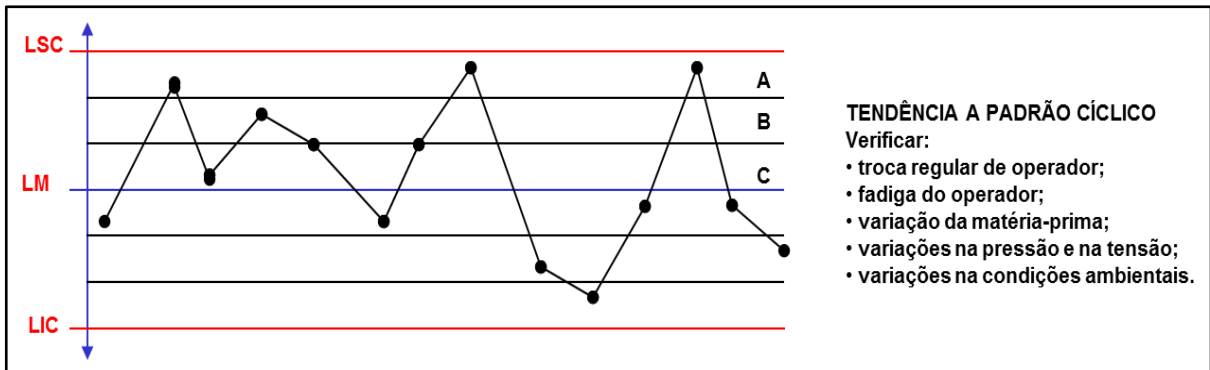
Gráfico 4 - Exemplo 3 de processo fora de controle



Fonte: Adaptado de Silva (2009).

- Quatorze ou mais pontos sucessivos estiverem alternando subidas e descidas. (GRAF. 5).

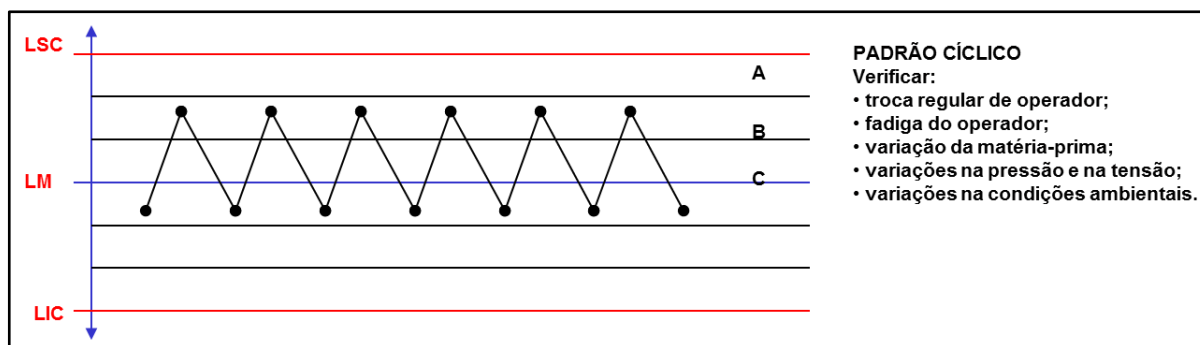
Gráfico 5 - Exemplo 4 de processo fora de controle



Fonte: Adaptado de Silva (2009).

- Pontos com repetição, sem muita diferença, estiverem em volta da média. (GRAF. 6).

Gráfico 6 - Exemplo 5 de processo fora de controle



Fonte: Adaptado de Silva (2009).

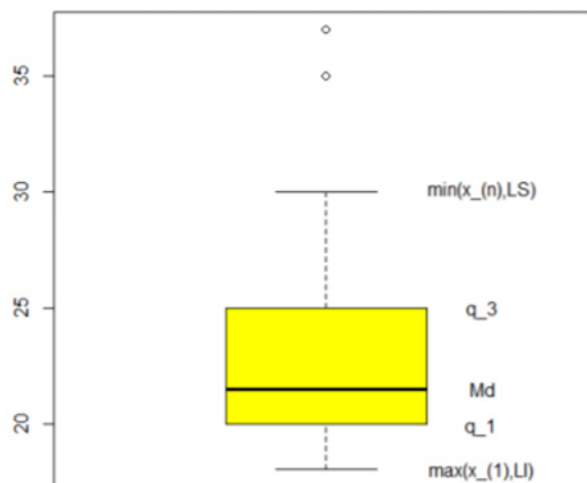
#### 5.4. Box plot

O Box-plot permite avaliar a simetria dos dados, sua dispersão e a existência ou não de outliers. Sendo especialmente adequado para a comparação de dois ou mais conjunto de dados correspondentes às categorias de uma variável.

De acordo com Montgomery (2004), o Box Plot ou diagrama de caixas é um gráfico que tem como objetivo apontar vários aspectos importantes dos dados simultaneamente. Tais como, tendência central ou posição, dispersão ou variabilidade, afastamento da simetria e identificação de observações muito afastadas da maior parte dos dados.

Segundo Bussab (2010), para a construção deste diagrama, considera-se um retângulo onde estão representados a mediana e os quartis. A partir do retângulo, para cima, segue uma linha até o ponto mais remoto que não exceda o chamado limite superior. De modo similar, da parte inferior do retângulo, para baixo, segue uma linha até o ponto mais remoto que não seja menor do que o chamado limite inferior. Os valores compreendidos entre esses dois limites são chamados valores adjacentes. As observações que estiverem acima do limite superior ou abaixo do limite inferior estabelecidos, serão chamados pontos exteriores e representadas por asteriscos ou pontos. Essas são observações destoantes das demais e podem ou não ser o que chamamos de outliers ou valores atípicos. (FIGURA 1).

Figura 1 – Box plot



Fonte: Bussab (2010).

### 5.5. Capacidade do processo

Define-se capacidade do processo, como a medição da capacidade que o processo possui de produzir produtos dentro das especificações impostas. (COSTA, EPPRECHT, CARPINETTI, 2005).

Costa et al. (2005) afirma que a capacidade do processo possui índices capazes de medir de maneira indireta quanto o processo em estudo é capaz de atender os padrões de qualidades estabelecidos. A qualidade do processo é proporcional ao índice indicado, ou seja, quanto maior o índice, mais o processo está capaz de atender as especificações estabelecidas.

Existem dois pontos importantes a serem considerados na análise da capacidade do processo: capacidade do processo e desempenho do processo. O autor também diz que a capacidade do processo pode ser determinada através da variação das causas comuns e na maioria das vezes representa o melhor desempenho dentro do processo. (VIEIRA, 1999).

O resultado geral do processo em relação aos seus requisitos, como as especificações, sem considerar a variação do processo, pode representar também o desempenho do processo. (MONTGOMERY, 2004).

Montgomery (2004), afirma que é importante que os dados utilizados para análises sigam a distribuição normal, isso irá fazer com que a análise da capacidade do processo seja confiável.

De acordo com Samohyl (2009), o índice de capacidade Cp é usado normalmente para processos que são centrados, que se define pela distância entre o limite superior de especificação (LSC) e o limite inferior de especificação (LIC), dividido pela variabilidade do processo igual a seis desvios padrões. Já o índice Cpk, é mais utilizado para processos em que não são centrados, e são determinados através do cálculo da distância entre a média do processo e um dos limites de especificação (LSC) ou (LIC).

Calcula-se o Cp e o Cpk através das equações 8, 9, 10 e 11 citadas abaixo:

$$Cp = \frac{LSC - LIC}{6\sigma} = \frac{LSC - LIC}{6\frac{\bar{R}}{d_2}} \quad (8)$$

$$Cps = \frac{LSC - \bar{X}}{3\sigma} \quad (9)$$

$$Cpi = \frac{\bar{X} - LIC}{3\sigma} \quad (10)$$

$$Cpk = \min(Cps \text{ ou } Cpi) \quad (11)$$

Montgomery (2004), afirma que se o valor de Cp é igual ao de Cpk, significa que o processo está centralizado no ponto médio das especificações impostas. O Cpk demonstra quanto o processo está operando fora do centro. Em outras palavras, o autor simplifica o que corresponde o Cp e o Cpk, afirmando que o Cp mede a capacidade potencial do processo, já o Cpk indica a capacidade real do mesmo.

O Cp e o Cpk deverão sempre ser analisados juntos, pois um valor de Cp bem maior que o do Cpk significa uma oportunidade de aperfeiçoamento pela centralização do processo. (IQA, 2005).

Para a análise do índice de Cpk, considera-se dois outros índices, que juntos com Cp e Cpk revelam diferentes aspectos do processo, que são o Cpi (especificação unilateral inferior) e o Cps (especificação unilateral superior).

De acordo com Montgomery (2004), em 1991 foi criado um grupo de ação da indústria automotiva o chamado AIAG, que tinha como objetivo padronizar a relação das exigências para os fornecedores de modo geral para a indústria. Este grupo

recomenda para verificação da capacidade do processo os índices Cp e Cpk quando o processo estiver sob controle, tendo o desvio padrão populacional. Quando o processo estiver fora de controle, a AIAG recomenda o uso dos índices do desempenho de processo Pp e Ppk e o desvio padrão é usado o amostral, onde:

$$Pp = \frac{LSE - LIE}{6S} \quad (12)$$

Montgomery (2004), afirma também que se o processo for distribuído normalmente e estiver sob controle, os valores de Cp e Cpk serão os mesmos de Pp e Ppk. Pois, para que um processo esteja estável, a diferença entre o desvio padrão populacional e o amostral deve ser mínima.

Silva (2009), afirma que um processo sob controle e com distribuição normal, não significa que o mesmo não esteja produzindo produtos com defeitos. O autor também faz algumas observações em relação aos valores de Cp, Cps, Cpi e Cpk.

- Quanto maior for o Cp, Cpk, Cps ou Cpi, melhor o processo atenderá as especificações.
- Quando o processo está centrado, os índices Cp e Cpk são iguais.
- Quando Cpk é menor que o Cp, o processo não está centrado.
- O Cpk é o menor valor entre o Cps e o Cpi.

A capacidade de um processo poderá ser classificada a partir do valor de Cpk. (SILVA, 2009). A TAB. 1 ilustra esta situação.

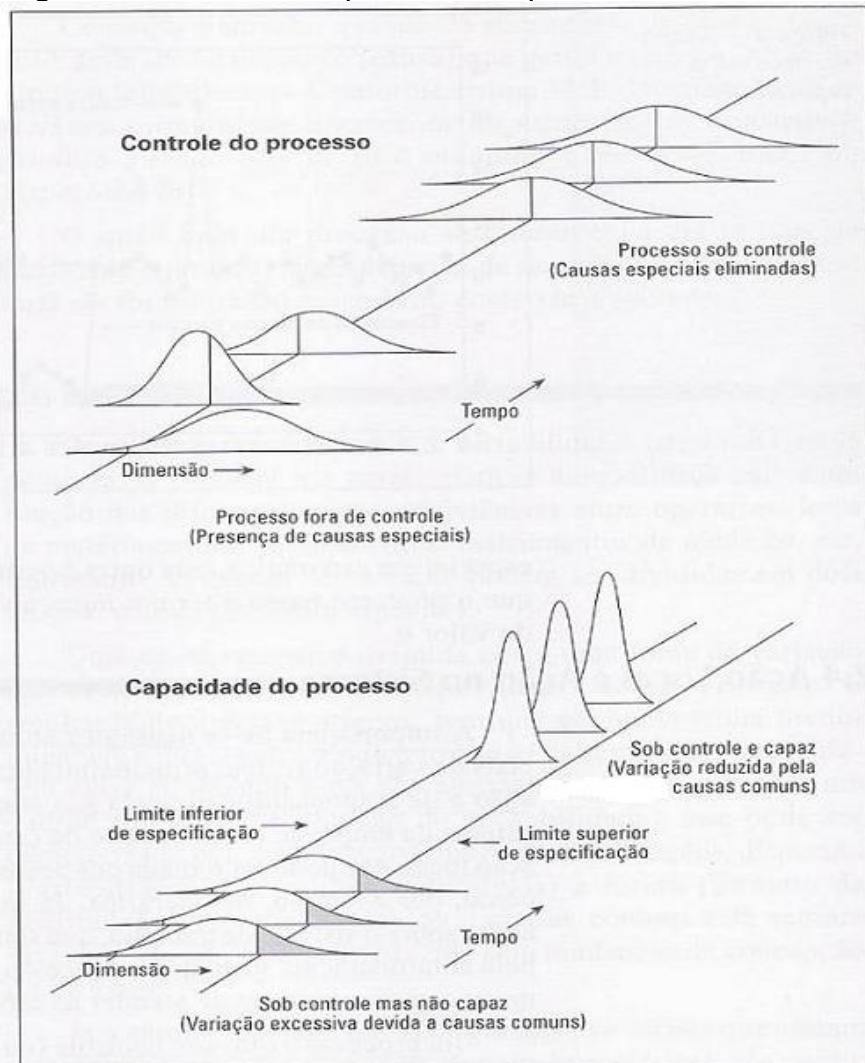
Tabela 1 - Capacidade do processo em relação ao Cpk.

Classificação	Valor Cpk	Itens fora de especificação (ppm)	
		Processo centrado e especificação bilateral Cp = Cpk	Processo não centrado e especificação unilateral Cpk
Capaz	Cpk ≥ 1,33	Menos de 64	Menos de 32
Razoavelmente capaz	1,00 ≤ Cpk < 1,33	64 a 2700	32 a 1350
Incapaz	Cpk < 1,00	mais de 2700	mais de 1350

Fonte: Adaptado de Silva (2009).

A FIG. 2 ilustra a análise da capacidade de um processo utilizando um histograma.

Figura 2 - Análise da capacidade de processo



Fonte: Adaptado de Silva (2009).

## 5.6. Ferramentas da qualidade utilizadas em Kaizen de processos.

Estas ferramentas foram criadas com o objetivo de auxiliar o sistema de produção em busca da melhoria da qualidade. O que irá contribuir na aplicação de conceitos, coleta e apresentação de dados, com o intuito de serem analisados e propostas soluções para a eliminação das não conformidades que estão prejudicando o processo produtivo. (MAICZUK e JÚNIOR, 2013).

### 5.6.1. Folha de verificação

A folha de verificação pode ser entendida como uma ferramenta da qualidade que mostra as etapas de um processo através de meios gráficos. (JURAN, 1992).

De acordo com Scholtes (1992), as folhas de verificação são exatamente formulários que bem projetados, são capazes de tornar fácil o registro e a análise dos dados.

Montgomery (2004), diz que as folhas de verificação são muito utilizadas para a coleta de dados no processo e históricos do processo. Os responsáveis pelo preenchimento das mesmas deverão projetar e preenchê-las corretamente, evitando problemas futuros durante o uso das outras ferramentas.

Palladini (1997), acrescenta que as folhas de verificação possuem estruturas de acordo com as especificações dos usuários, por esse motivo elas apresentam extrema flexibilidade de projeção, utilização e interpretação.

De acordo com SEBRAE (1994), para sua construção deve ser verificada as seguintes etapas:

- Estabelecimento exato do evento estudado;
- Período durante o qual os dados serão coletados;
- Formulário claro e de fácil manuseio;
- Coleta de dados consistentes e honestos.

Para Peinado e Graeml (2007), as folhas de verificação são as ferramentas mais simples da qualidade, todos os dados coletados poderão ser demonstrados em forma de quadros ou tabelas.

A TAB. 2 ilustra um exemplo de folha de verificação.

Tabela 2 - Folha de verificação

Produto:		
Estágio de fabricação: inspeção final      Data:		
Tipo de defeito: marca, peça incompleta, trinca, deformação	Seção:	
Total inspecionado: 1525	Inspetor:	
Observação: todos os itens inspecionados	Lote nº: Pedido nº:	
Defeito	Marca	Sub-total
Marcas na superfície		17
Trinca		11
Peça incompleta		26
Deformação		3
Outros		5
Total		62
Total rejeitado		42

Fonte: Adaptado de Miguel (2001).

Não existe padrão para as folhas de verificação, o importante é que cada organização desenvolva e projete seu formulário de acordo com as especificações necessitadas pelo usuário. O autor diz também que, elas devem ser desenvolvidas por meio de um objetivo definido, que tenha confiabilidade nas medições e que os registros possam ser claros e de forma organizada. (ALVAREZ, 2001).

### 5.6.2. Fluxograma ou diagrama de processo

De acordo com Juran (1992), o fluxograma define-se pela representação das etapas de um processo através de meios gráficos. A montagem de um fluxograma em uma empresa demanda empenho de todos os colaboradores, com isso, os resultados obtidos serão mais satisfatórios.

Fluxogramas são figuras que demonstram passo a passo as etapas usadas para planejar um projeto ou descrever um processo em estudo. (SCHAOLTES, 1992).

Tem como objetivo principal representar em sequência todas as fases do processo de forma que se possa ter bom entendimento. As comparações da análise




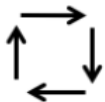



crítica dos mesmos com as fases e sequenciamentos reais do processo auxiliam na percepção de possíveis problemas de qualidade. (CORREA, CORREA, 2012).

Juran (2001), afirma que os fluxogramas são construídos por uma série de símbolos padronizados e a maior parte é construída apenas por símbolos básicos.

O QUADRO 2, mostra alguns dos símbolos mais usados na construção de um fluxograma, chamados símbolos básicos.

Quadro 2 - Símbolos básicos para a construção do fluxograma

	<p>O <b><u>símbolo de atividade</u></b> é um retângulo que designa uma atividade. Dentro dele está uma breve descrição daquela atividade.</p>
	<p>O <b><u>símbolo de decisão</u></b> é um losango que designa um ponto de decisão, a partir do qual o processo se divide em dois ou mais caminhos. O caminho tomado depende da resposta à pergunta que aparece dentro do losango. Cada caminho é rotulado para corresponder a uma resposta à pergunta.</p>
	<p>O <b><u>símbolo terminal</u></b> é um retângulo arredondado que identifica, de forma inequívoca, o início ou término de um processo, de acordo com a palavra que está dentro do retângulo. "Início" é usado para designar o ponto de partida do fluxo de um processo; "fim" é usado para designar o final do fluxo de um processo.</p>
	<p>A <b><u>linha de fluxo</u></b> representa um caminho de processo que liga elementos do mesmo, por exemplo, atividades ou decisões; a seta sobre o fluxo indica a direção do fluxo.</p>
	<p>O <b><u>conector</u></b> é um círculo que é usado para indicar uma continuação do fluxograma.</p>

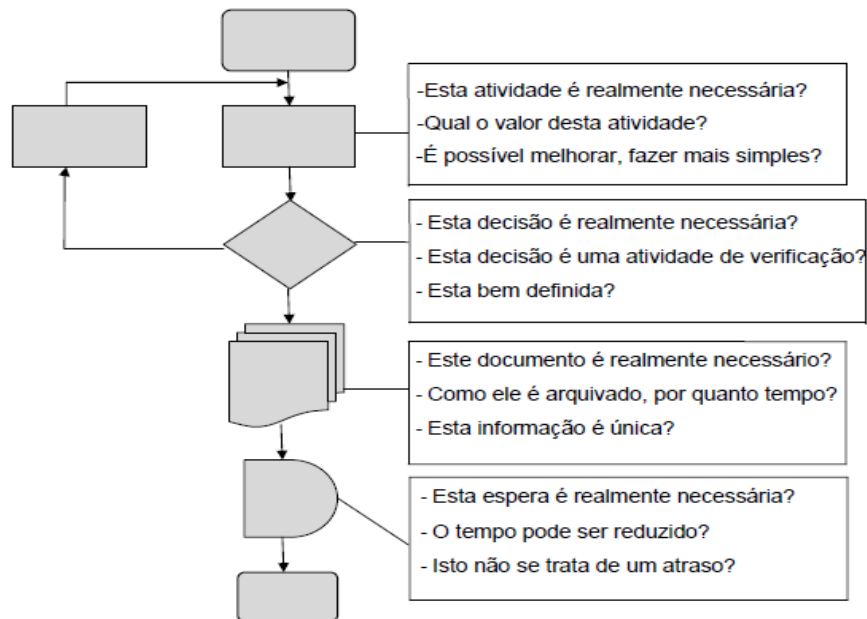
Fonte: Adaptado de Juran (2001).

Segundo Peinado e Graeml (2007), o fluxograma é uma ferramenta do controle estatístico do processo que pode ajudar bastante quando se quer realizar as seguintes ações:

- Aperfeiçoar o entendimento do processo;
- Indicar como deve ser realizado o trabalho;
- Inventar um molde de trabalho ou um regulamento de como procedê-lo.

A FIG. 3 ilustra um fluxograma de processo.

Figura 3 - Análise crítica de um fluxograma de processo



Fonte: Adaptado de Peinado e Graeml (2007).

### 5.6.3. Diagrama de causa e efeito ou Diagrama de Ishikawa

Alvarez (2001), diz que o diagrama de causa e efeito é utilizado para ilustrar todas as relações entre as causas e os efeitos. Dentre as causas identificadas, as mesmas podem ser ramificadas e classificadas entre secundárias e terciárias.

Para que a construção do diagrama de causa e efeito chegue a um resultado confiável e eficiente, é importante que todos os colaboradores envolvidos no processo estejam presentes, a fim de que todas as informações passadas por eles sejam relevantes e que nenhuma possa ser esquecida. É aconselhável então realizar um “brainstorming” que é definido por ser uma técnica que auxilia pessoas a produzir muitas ideias em pouco tempo. (WERKEMA, 2006).

Para Montgomery (2004), durante o controle estatístico do processo, o diagrama de causa e efeito é uma ferramenta essencial aplicada ao mesmo. Pois quando aplicada corretamente, o mesmo pode gerar informações importantes como identificar, localizar, propor soluções e reparar os problemas sem que centralize a responsabilidade em um mesmo.

Alvarez (2001), diz que este diagrama é elaborado através de seis fatores, conhecidos por seis M, que são eles: método, mão de obra, meio ambiente, matéria prima, máquinas e medidas.

O primeiro passo para se construir um diagrama de causa e efeito é colocar na “cabeça de peixe” o principal problema já detectado, após isso, são identificadas as possíveis causas que são ramificadas em maiores e menores através da relevância de cada uma já estipulada. (LAS CASAS, 2000).

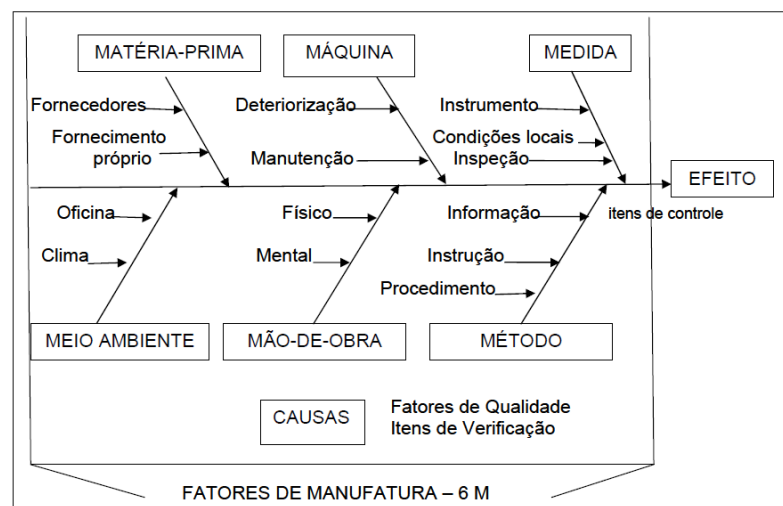
De acordo com Montgomery (2004), para construir um diagrama de causa e efeito deve-se seguir as seguintes etapas:

- Defina o problema ou efeito a ser analisado.
- Forme a equipe para realizar a análise. Em geral a equipe descobrirá causas potenciais em sessões brainstorming.
- Desenhe a caixa de efeito e a linha central.
- Especifique as principais categorias de causas potenciais e coloque-as em caixas, ligadas a linha central.
- Identifique as causas possíveis e classifique-as nas categorias do passo 4. Crie novas categorias se necessário.
- Ordene as causas para identificar aquelas que parecem mais prováveis de causar impacto sobre o problema.
- Adote ações corretivas.

O diagrama de causa e efeito é capaz de identificar as possíveis causas, mas somente os dados indicarão as causas reais. A técnica dos seis M é capaz de permitir maior compreensão de um problema e das possíveis causas que fizeram com que o mesmo aconteça. (SCHOLTES, 1992).

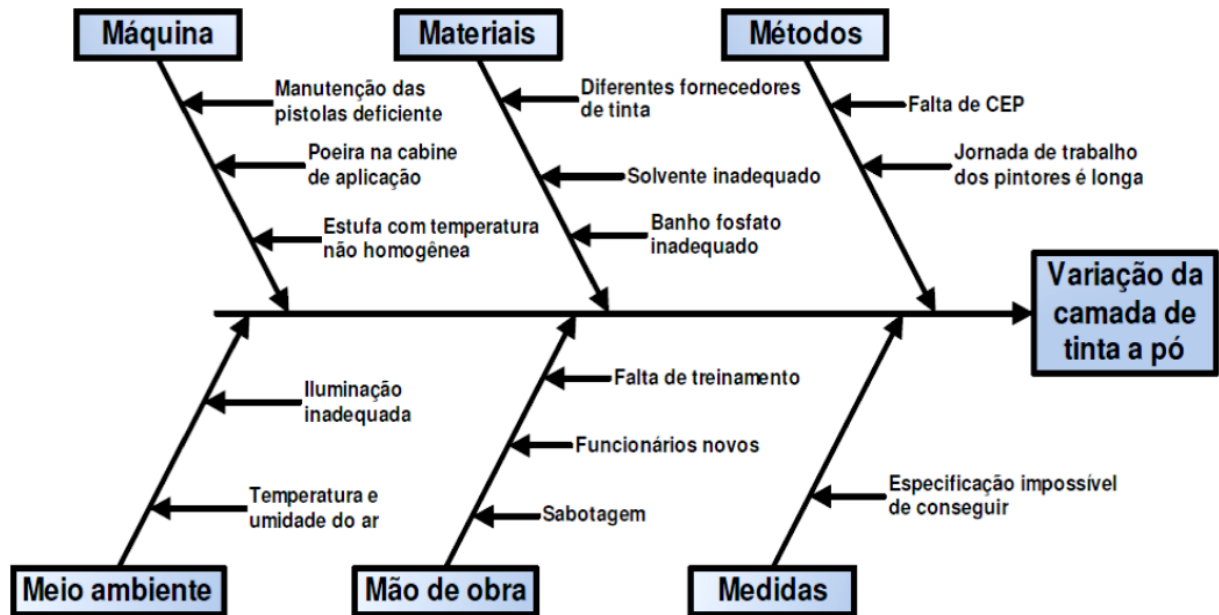
As FIG. 4 e 5 ilustram exemplos de um diagrama de causa e efeito.

Figura 4 - Diagrama de causa e efeito (ou diagrama de Ishikawa)



Fonte: Adaptado de Campos (1992).

Figura 5 - Exemplo de diagrama de causa e efeito – Problema de manufatura



Fonte: Adaptado de Peinado e Graeml (2007).

Araujo (2001), afirma que o diagrama de causa e efeito é uma ferramenta essencial para utilização nos processos de planejamento. Pois, ele tem como objetivo mostrar com clareza os problemas identificados e com isso favorecer no entendimento e na organização de ideias.

Montgomery (2004), ainda afirma que a análise de causa e efeito é uma ferramenta muito poderosa, pois pode servir com muita eficácia para auxiliar na localização e reparação de defeitos. Além disso, com a construção de um diagrama de causa e efeito, o mesmo tem o poder de levar as pessoas envolvidas a atacar o problema e não a atribuir a culpa.

#### 5.6.4. Matriz de Causa e Efeito

De acordo com Seta (2013), essa ferramenta busca auxiliar a priorização das possíveis causas que podem ou não estar afetando o processo. Ainda, segundo o autor, ela possui um sistema de notas que são atribuídas com um alto valor para as causas de maiores prioridades de ataque. Geralmente, essas notas vão de zero a dez, onde a pontuação baixa tem pouco efeito na variável de saída e a pontuação alta pode afetar significativamente a variável de saída.

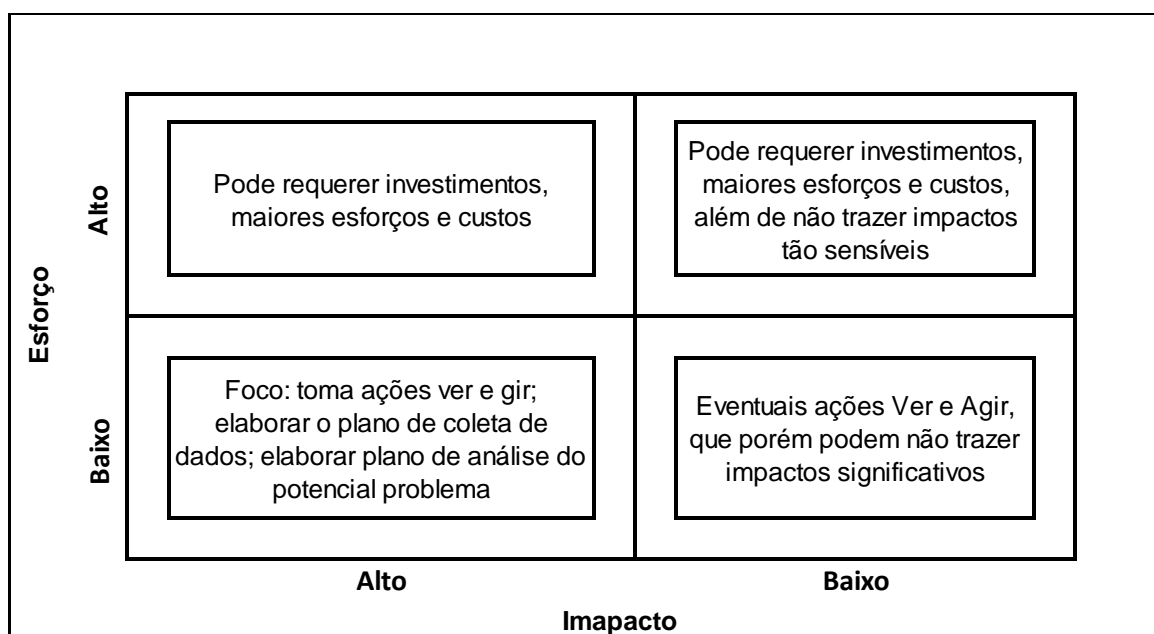
### 5.6.5. Matriz de Esforço e Impacto

Seta (2013) define que a ferramenta da qualidade matriz de esforço e impacto, tem o objetivo de auxiliar na seleção das variáveis que demonstram quais as variáveis são mais fáceis de atacar e quais as mais difíceis. Com isso, em outras palavras, esta é uma ferramenta de priorização do esforço. Essa ferramenta é usada normalmente como um aditivo para a construção da matriz de causa e efeito.

É aconselhável iniciar com as ações que apresentam maior impacto e menor esforço. Após, as outras variáveis também podem ser atacadas, mas as de alto impacto é que devem ser prioridade nos ataques. (SETA, 2013).

O QUADRO 3 demonstra um exemplo de uma matriz de esforço x impacto.

Quadro 3 - Símbolos básicos para a construção do fluxograma



Fonte: Adaptado de Seta (2013).

### 5.6.6. Histograma

De acordo com Corrêa e Corrêa (2008), histograma é uma ferramenta onde através de dados obtidos no processo pode mostrá-los de forma gráfica, simplificando a comparação de suas frequências de ocorrência. É uma ferramenta da qualidade, onde é capaz de mostrar a frequência de ocorrência de um determinado valor ou classes de valores em um grupo de dados. (CARBURON, MORELES, 2006).

O histograma pode ser definido como uma ferramenta do controle estatístico, que permite ao analista uma visualização global entre um grande número de dados, organizando-os em uma série de barras que são divididas de acordo com suas classes. Para criar um histograma deve-se ter a disposição valores numéricos que cada uma das classes pode conter. Para ser feita a sua construção é preciso que se proceda a tabulação dos dados obtidos. (BALLERTERO-ALVAREZ, 2001).

De acordo com Almeida (2000), o histograma pode ser definido por um gráfico de barras, que pode ser visualizada a distribuição de dados por categoria. Proporcionando um melhor entendimento com relação a análise de variabilidade e aos requisitos especificados.

A coleta de dados de uma amostra é um fator de suma importância durante a tomada de decisões, porém quanto maior o tamanho da amostra, mais dados se tem para ser feitas as análises. O histograma é uma ferramenta capaz de exibir um grande volume de dados de uma população de forma rápida e eficiente. (KUME, 1993).

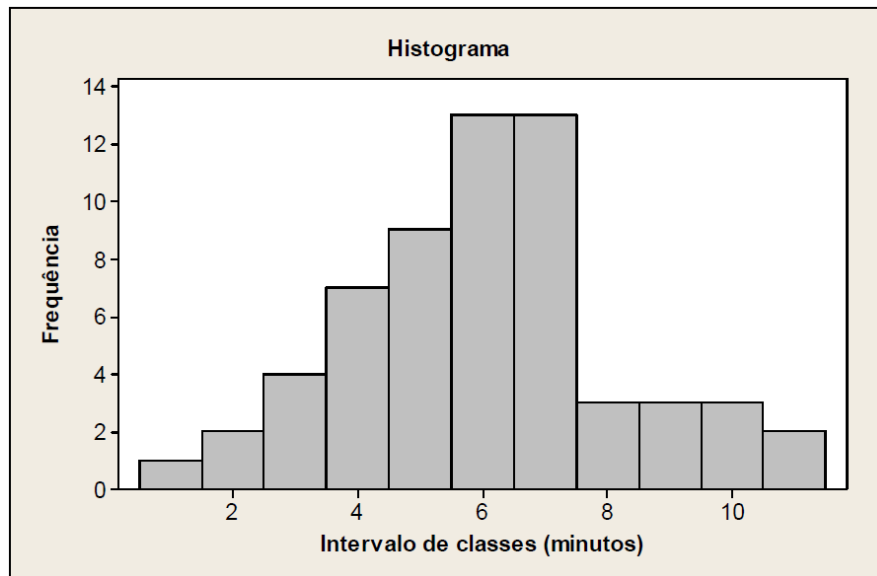
Para Krajewski, Ritzman e Malhotra (2009), o histograma mostra toda a distribuição de frequência de alguma característica de classe, ele é capaz de resumir os dados medidos em uma escala contínua.

Coraiola (2001), diz que os histogramas podem ser aplicados a seguintes situações:

- Examinar o número de produto que não está conforme;
- Definir a dispersão dos valores de medidas em objetos;
- Avaliar ações que necessitam ser corrigidas;
- Localizar e apontar por meio de número de unidade por cada categoria.

A FIG 6 ilustra um exemplo de histograma.

Figura 6 - Histograma



Fonte: Adaptado de Corrêa e Corrêa (2008).

#### 5.6.7. Plano de ação (5W2H)

Para Paris (2002), o 5W2H se trata de uma ferramenta da qualidade muito útil para tomada de decisões e ações para solucionar os problemas encontrados. Pois, tem o objetivo de sugerir ideias que possam melhorar a sustentabilidade obtida, obedecendo uma ordenação de prioridade que é estabelecida por critérios que variam de acordo com o objetivo da técnica. Ela também é capaz de indicar o responsável que irá colocar em prática as ações e informar todo investimento necessário para a realização das mesmas.

Oliveira (1996), afirma que a ferramenta 5W2H tem o objetivo de ser como referência nas tomadas de decisões, pois ela é capaz de dar sustentação e com isso permite o acompanhamento do desenvolvimento de um projeto. Ainda, de acordo com o autor, os planos de ação necessitam ser bem projetados, permitindo o fácil entendimento e deixando claro os elementos indispensáveis para a implementação de um projeto. Estes elementos são percebidos pelo 5W2H e que estão descritos, mostrando o significado dos 5W e os 2H:

**Why** – Por que esta tarefa é necessária?

**What** – Quais são as contramedidas para eliminar o problema?

**How** – Qual é o método de execução desta tarefa?

**Where** – Onde será executada a tarefa?

**When** – Quando será executada a tarefa? Prazo máximo.

**Who** – Quem é o responsável pela execução da tarefa?

**Howmuch** – Quanto custa? Quais os recursos necessários?

Esta pode ser muito prática e útil, pois permite identificar a qualquer momento as etapas mais importantes de um processo. Também pode mostrar a definição de função de cada colaborador dentro da organização, o que o mesmo faz e por que realiza tais atividades. (SEBRAE, 2008).

Ainda de acordo com Sebrae (2008), esta ferramenta pode ser utilizada em três etapas na solução de problemas:

- Diagnóstico: na investigação de um problema ou processo, para aumentar o nível de informações e buscar rapidamente as falhas;
- Plano de ação: auxiliar na montagem de um plano de ação sobre o que deve ser feito para eliminar um problema;
- Padronização: auxilia na padronização de procedimentos que devem ser seguidos como modelo, para prevenir o reaparecimento dos mesmos.

A TAB. 3 ilustra um exemplo do plano de ação da ferramenta 5W2H.

Tabela 3 - Exemplo de plano de ação

Plano de Ação						
<b>Setor:</b> Serviço de apoio e logística <b>Objetivo:</b> Reduzir os custos internos de geração de fotocópias em 30%.				<b>Responsável:</b> João <b>Prazo:</b> 30/07/2014		
O que (What)	Quem (Who)	Quando (When)	Onde (Where)	Por que (Why)	Como (How)	Custos (HowMuch)
Reavaliação de contratos e negociação com fornecedores	Joana	Até 10/07	Em nossa empresa e nos fornecedores	Há suspeitas de as cláusulas de desconto por volume não estarem compatíveis	Comparação com outros contratos e pesquisa junto aos fornecedores alternativos	R\$ 2.000,00

Fonte: Adaptado de Logística Treinamentos (2014).

## 5.7. Processo de calcinação para obtenção da cal

De acordo com Sampaio e Almeida (2008), a cal é obtida através da calcinação de um calcário quem tem em suas características químicas, um alto teor de cálcio ou magnésio. Usualmente a cal com alto teor de cálcio, tem um teor de menos de 5% de



MgO (Óxido de magnésio), quando possui essas características denomina-se uma “Cal calcífica”.

O custo mais elevado no processo de calcinação do calcário é o do combustível, chega a 60% do valor total da produção. Os combustíveis mais usados nos fornos de calcinação são o coque de petróleo e a lenha; porém ainda existem outros combustíveis que são menos utilizados que são carvão mineral, óleo combustível e o gás natural. (SOARES, 2007).

Sampaio e Almeida (2008), afirma que a calcinação do calcário ocorre em temperaturas próximas as de fusão do material, algo em torno de 900 a 1000°C, e é composta por três etapas:

- A preparação da amostra que é a operação de lavra, britagem, peneiramento e lavagem em alguns casos específicos;
- Calcinação;
- Hidratação em alguns casos. Esta deve ocorrer em conformidade com o uso do produto final.

A calcinação do calcário necessita de algumas operações otimizadas para se conseguir um desempenho desejado. Existem três fatores fundamentais que precisam ser observados para a realização do processo: (SAMPAIO, ALMEIDA, 2008).

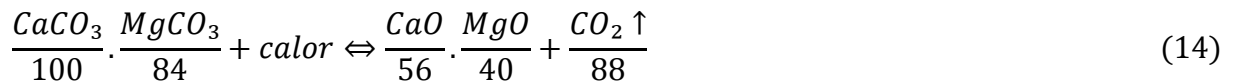
- O calcário deverá ser aquecido até a temperatura de dissociação dos carbonatos;
- A temperatura mínima de dissociação deve ser mantida por um período, em geral, definida de acordo com as impurezas do calcário, evitando que a calcinação não se dê por completa;
- O dióxido de carbono liberado deve ser removido do ambiente de calcinação o mais rápido possível, pois o CO<sub>2</sub> liberado percorre uma longa distância no ambiente de calcinação até ser totalmente expelido.

As equações 13 e 14 demonstram as reações químicas existentes durante a calcinação do calcário.

- Calcinação do calcário (CaCO<sub>3</sub>) na temperatura entre 1000 e 1300°C.



- Calcinação do calcário dolomito (CaCO<sub>3</sub>.MgCO<sub>3</sub>) na temperatura entre 900 e 1200°C.



A calcinação do calcário varia muito com a composição dos mesmos. Ela inicia-se de fora para dentro e de forma simultânea ocorre a liberação do CO<sub>2</sub> na interface.

Existem três diferenças básicas entre o calcário calcítico e o dolomítico que são de interesses importantes na calcinação:

- No calcário calcítico o teor de CaO gira em torno de 56% e no dolomítico os teores são aproximadamente 16% de MgO e 34% de CaO;
- As temperaturas de calcinação ocorrem em faixas diferentes para o calcário calcítico e o dolomítico;
- A perda ao fogo para o calcário calcítico aproxima-se de 44%, já o dolomítico gira em torno de 46%.

Estes três fatores podem comprometer na obtenção do produto final e no processo de calcinação, caso não se tenha definidas comprovadamente através de análises. (SAMPAIO, ALMEIDA, 2008).

A cal virgem ganha um destaque muito grande devido a sua versatilidade de consumo, pois pode ser usada como produto ou consumo. Algumas de inúmeras aplicabilidades da cal virgem estão descritas no QUADRO 4.

Quadro 4 - Algumas aplicações da cal

Agentes de processos químicos e físico-químicos	Setor de consumo
Absorção	Branqueamento; Remoção do SO <sub>2</sub> e SO <sub>3</sub> , processo sulfito (fabricação de papel), armazenamento de frutas;
Matéria-prima	Borracha, concreto, alimentos, álcalis, tintas, carbureto de cálcio, inseticidas, cianamida cálcica, abrasivos, vidro;
Desidratação	Secagem de ar, borracha, álcool, solventes orgânicos;
Floculação	Açúcar, flotação de minérios, pigmentos de tintas, tratamento de esgotos, tratamento de água para fins potáveis, tratamento de água residual;
Fluxo	Fornos de aço LD-BOF, sinterização, fornos de aço martin-simons, forno de aço elétrico, metais não ferrosos;
Lubrificação	Lama de sondagens, trefilação de arames;
Aglomerção	Argamassa de assentamento, reboco e emboço, misturas asfálticas, matérias isolantes, mistura solo-cal, produto com silicato cálcio, tijolo sílico-cal, pelotização de minérios de ferro, estuques;
Neutralização	Ácido cítrico, tratamento de águas, fertilizantes, resíduos de decapagem de materiais, resíduos explosivos, laticínios, drenagem de águas de minas, resíduos radioativos, resíduos de urânio, calagem, resíduo de cromo, resíduo de corantes;
Solução	Gelatinas, couro (despelador), tintas a base de caseína, papelão;

Fonte: Adaptado de Soares (2007).

## 6. MATERIAIS E MÉTODOS

O método utilizado para a pesquisa é o estudo de caso, buscando a implantação do CEP no processo de fabricação em uma empresa de calcinação, a fim de estabelecer um controle, evitando a ocorrência de problemas no final do processo, analisando e tratando os desvios durante o mesmo.

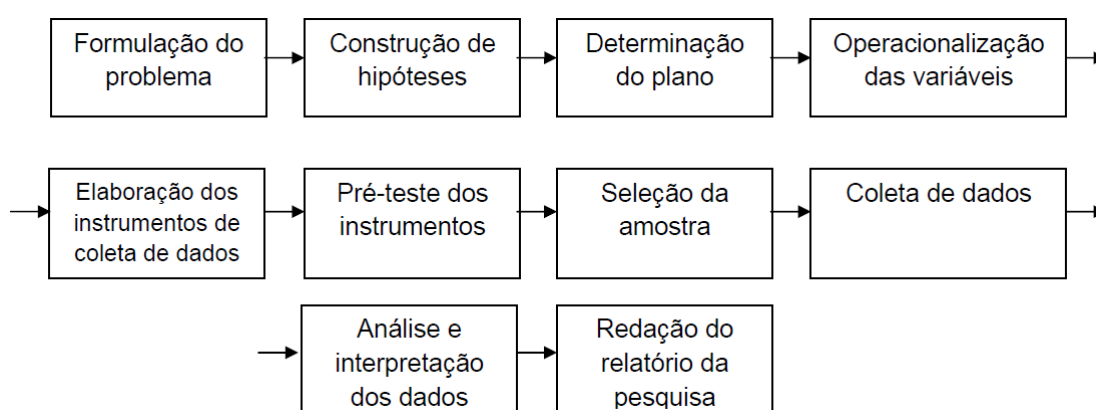
O estudo de caso é uma estratégia que leva em consideração a compreensão como um todo do assunto investigado. Nesta estratégia todos os aspectos são investigados.

O estudo de caso pode ser definido também por uma descrição analítica de um evento ou de uma situação in loco, e o método de estudo de caso serve de guia para o desenvolvimento de procedimentos, com a finalidade de obter novas descobertas. Para YIN (2001), a essência de um estudo de caso é a tentativa de esclarecer uma decisão ou um conjunto de decisões, avaliando o motivo pelo qual foram tomadas, como foram implementadas e com quais resultados.

Segundo Gil (2010), é necessário seguir algumas etapas para a elaboração de um projeto e para desenvolver a pesquisa.

A FIG 7 ilustra o diagrama de pesquisa.

Figura 7 - Diagrama de pesquisa



Fonte: Adaptado de Gil (2010).

A pesquisa realizada pode ser classificada como pesquisa aplicada, pois engloba estudos elaborados com o objetivo de se resolver as não conformidades encontradas. Se torna uma pesquisa explicativa também, levando em conta os objetivos que tem a finalidade de identificar fatores que podem ter contribuído ou determinado para o surgimento das não conformidades no processo. Quanto à abordagem, a pesquisa pode ser classificada como quantitativa, pois seus resultados poderão ser quantificados por meio da análise dos dados e a utilização das ferramentas estatísticas.

### **6.1. Local do estudo**

Este estudo foi realizado em uma empresa situada no Centro Oeste de Minas Gerais, onde tem como processo a calcinação de calcário dolomita, originando-se a cal dolomítica utilizada no setor de aciaria. A calcinação do calcário é realizada através de fornos AZBE, com a aplicação de uma temperatura por volta dos 900°C se consegue praticar a calcinação. Permitindo assim, a liberação do dióxido de Carbono originando a cal como produto final, conforme ilustra a equação (14).

### **6.2. Escolha da amostra**

A empresa trabalha 24 horas/dia, alternando entre 3 turnos de 8 horas, com isso, o processo de amostragem procedeu-se coletando amostras de cal em cada turno. A amostragem foi durante a passagem do produto do pré-silo para o silo de armazenamento. Este pré-silo é o local onde se armazena o produto produzido em cada turno. O procedimento citado, leva cerca de uma hora para finalizar, então, de 20 em 20 minutos foram coletadas amostras. Com a homogeneização dessas três amostras, cria-se uma única amostra que representará o turno e será analisada. Ao final obteve-se 3 amostras por dia, que durante o mês de Julho somaram 93 amostras.

Essas amostras foram preparadas conforme a norma ABNT 6471 (Cal virgem e cal hidratada – Retirada e preparação da amostra - Procedimento), sendo moídas em moinho piloto de laboratório, classificadas e analisadas.

### **6.3. Método de coleta de dados**

Os dados da pesquisa foram obtidos através de análise de documentos internos da empresa como planilhas de controle da produção e da qualidade. Onde também, estão registrados os resultados das análises de PPC realizadas nas amostras coletadas.

Os dados usados para a aplicação do CEP correspondem ao período de 01/07/2017 a 31/07/2017, com o objetivo de obter confiabilidade no resultado a ser encontrado.

### 6.3.1. Determinação da perda por calcinação (PPC)

Para a determinação do PPC das amostras, utilizou-se a norma NBR 6473 (Cal virgem hidratada – Análise química). Esta análise consiste em determinar o quanto de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) a cal consegue perder após ser levada novamente a uma alta temperatura.

Para a realização deste ensaio foram pesados 3 gramas da amostra em cadinhos de porcelana resistentes a altas temperaturas previamente calcinado por 15 minutos a  $1000^\circ\text{C}$  na mufla, da marca GP Científica e tarado em uma balança analítica de marca OHAUS. Após a pesagem das amostras na balança analítica, os cadinhos contendo as amostras foram colocados durante 1 hora, a  $1000^\circ$  na mufla para calcinação. Depois das amostras terem sido calcinadas, as mesmas foram colocadas em dessecador para esfriar e se obter o peso final. As FIG. 8, 9, 10 e 11 ilustram este processo.

Figura 8 - Pesagem das amostras



Fonte: Autor (2017).

Figura 9 - Amostras colocadas para calcinar



Fonte: Autor (2017).

Figura 10 - Amostras calcinando a 1000°C



Fonte: Autor (2017).

Figura 11 - Amostras resfriando



Fonte: Autor (2017).

Para a determinação do PPC utilizou-se a equação (15), estipulada pela NBR 6473.

$$PPC = \left( \frac{(m1 - m2)}{m3} \times 100 \right) \quad (15)$$

Onde:

PPC: é a perda por calcinação

m1: é a massa do cadinho com a amostra antes da calcinação, em gramas;

m2: é a massa do cadinho com a amostra após a calcinação, em gramas;

m3: é a massa inicial da amostra, em gramas.

#### 6.4. Método de análise

Para interpretação dos dados pesquisados foram utilizadas as ferramentas do CEP, planilhas do EXCEL e o software MINITAB. Os quais auxiliaram na análise estatística do processo facilitando a interpretação dos dados. Foram utilizadas outras ferramentas estatísticas para identificar e solucionar as possíveis anomalias encontradas.



## **7. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A empresa em estudo possui aproximadamente 40 colaboradores e tem uma produção de cal diária em torno de 200 ton. A qualidade deste produto final é indispensável que esteja dentro dos limites de especificações, e dos parâmetros que devem ser analisados. O PPC é um dos principais, pois este, quando fora dos limites, faz com que toda a qualidade do produto seja comprometida, sendo desviado para outro processo que não era o objetivo a ser destinado, gerando maior custo e desvalorização do produto.

Se um produto fora das especificações não for identificado na empresa, e este, chegar até o cliente, poderá ser o principal motivo de problemas no seu processo, fazendo com que este cliente possa excluí-lo da carteira de fornecedores.

### **7.1. Análise do processo de calcinação da empresa**

Para uma melhor análise e compreensão das não conformidades do processo produtivo da empresa, foram utilizadas as seguintes ferramentas da qualidade:

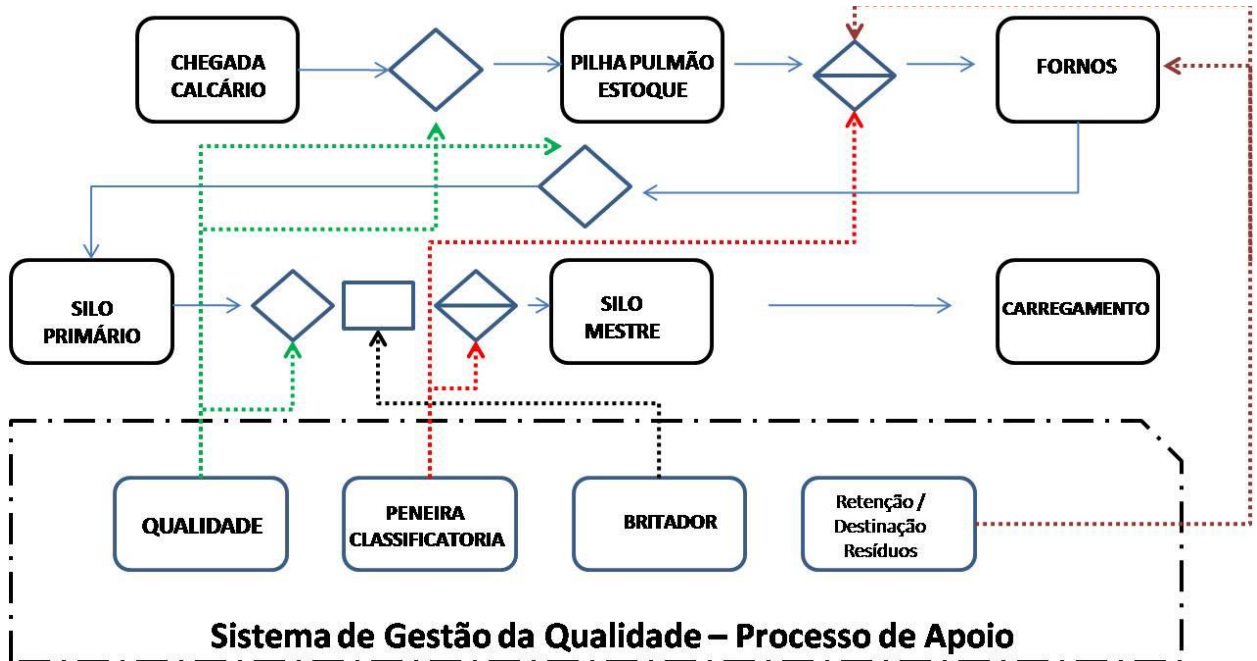
- 1- Fluxograma;
- 2- Folha de verificação;
- 3- Gráfico Box plot
- 4- Gráfico de controle;
- 5- Histograma;
- 6- Diagrama de causa e efeito;
- 7- Matriz de causa e efeito
- 8- Matriz de esforço e impacto;
- 9- Plano de ação (5W2H).

#### **7.1.1. Fluxograma do processo**

A construção do fluxograma possibilitou um melhor entendimento do processo produtivo da empresa. Ao analisá-lo observa-se que, todas as etapas devem ser bem executadas para garantir a qualidade da etapa seguinte. As etapas de inspeção da qualidade tanto da matéria prima quanto do produto final requerem uma atenção

especial, por se tratar de etapas de decisão para que, junto com as demais, proporcionem segurança e qualidade ao produto. (FIG. 14).

Figura 12 - Fluxograma das etapas do processo de calcinação



Fonte: Empresa em estudo (2017).

Conforme a FIG. 14, o processo da empresa consiste na chegada do calcário e análise da qualidade do mesmo; tendo a aprovação do setor da qualidade, ele é descarregado no estoque de matéria prima. Desse estoque ele será encaminhado para a peneira classificatória, onde será retirado todo material com a granulometria fora das especificações sendo levado para dentro do forno de calcinação. Após a calcinação, esse material é destinado para um pré-silo de armazenamento. Neste momento, deverá ser feita a coleta das amostras verificando a qualidade do produto. Aprovado pelo setor de qualidade o produto será enviado ao britador posteriormente classificado e enviando ao silo correspondente a sua granulometria. Porém, se o material não for aprovado pelo setor da qualidade, o mesmo é enviado para outro silo onde será usado para outros fins.

### 7.1.2. Folha de verificação

Para a documentação dos resultados da análise de PPC das amostras coletadas durante 30 dias, utilizou-se a folha de verificação, onde o responsável pelo

turno procedia a coleta das amostras referente ao seu turno, e entregava ao setor da qualidade, onde este, após a realização do ensaio, registrava os valores na folha de verificação.

Encontra-se no APÊNDICE A os resultados das análises de PPC realizadas durante os 30 dias de observações.

O processo da empresa, contém limite superior e inferior de especificações de acordo com o que o cliente estabelece, são eles:

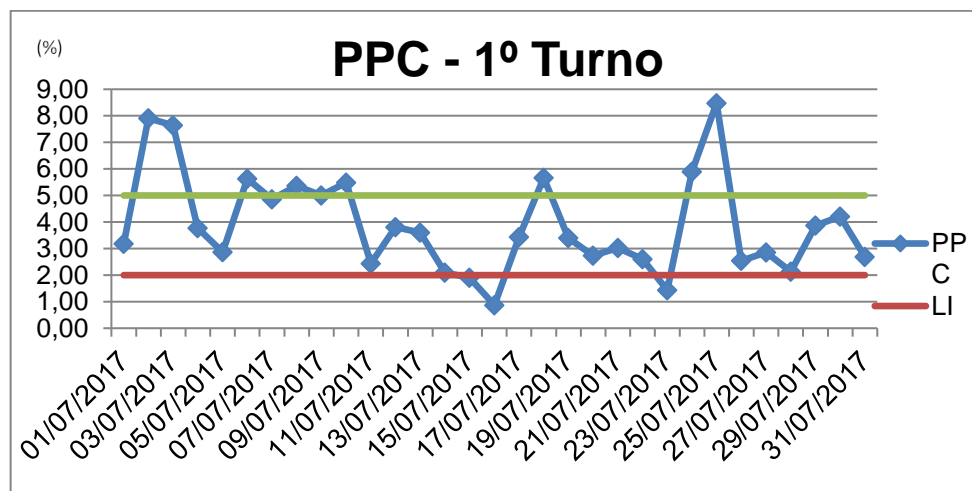
LS:  $PPC \leq 5,00\%$

LI:  $PPC \geq 2,00\%$

### 7.1.3. Análise do PPC

No primeiro turno de trabalho, oito pontos estiveram acima do limite superior de especificação do processo e três pontos estiveram abaixo do limite inferior. (GRAF. 7).

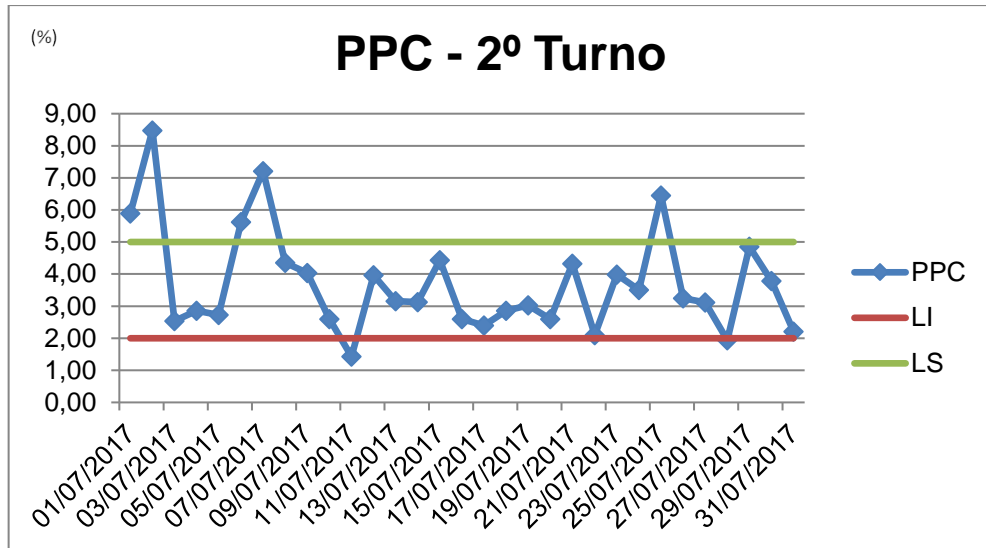
Gráfico 7 - Resultados de PPC referentes ao 1º turno



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

No segundo turno de trabalho, cinco pontos estiveram acima do limite superior de especificação do processo e dois pontos estiveram abaixo do limite inferior. (GRAF. 8).

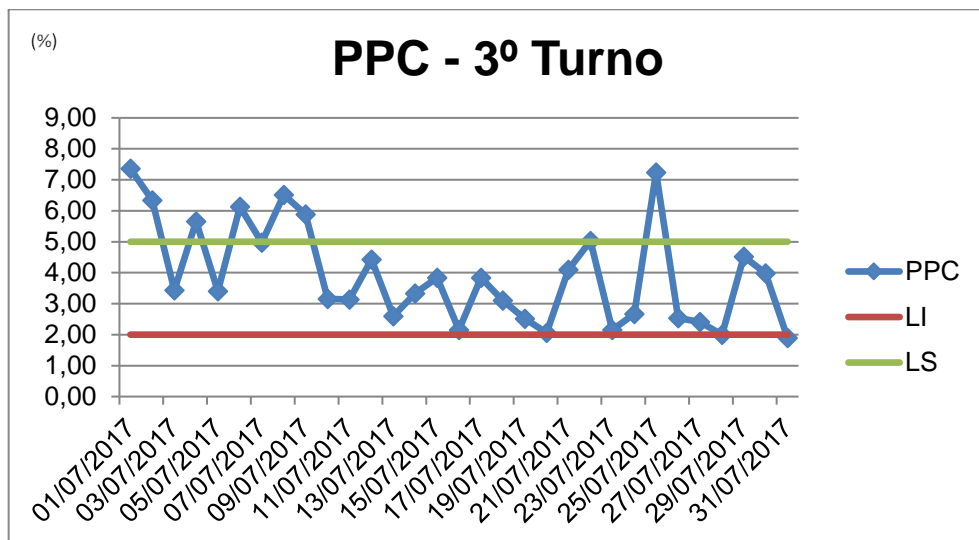
Gráfico 8 - Resultados de PPC referentes ao 2º turno



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

No terceiro turno de trabalho, sete pontos estiveram acima do limite superior de especificação do processo e somente um ponto esteve abaixo do limite inferior. (GRAF. 9).

Gráfico 9 - Resultados de PPC referentes ao 3º turno



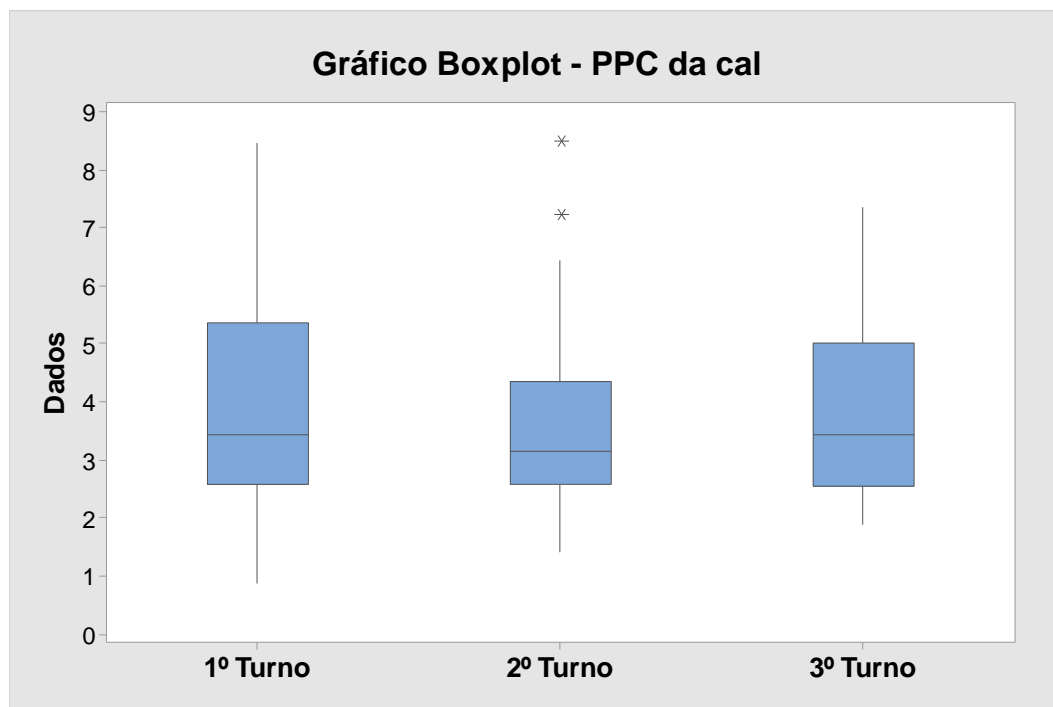
Fonte: Dados da pesquisa (2017).

#### 7.1.4. Boxplot

Para uma melhor interpretação dos dados, foi construído um gráfico boxplot, onde o mesmo auxiliará nas conclusões sobre o turno com maior dispersão dos dados,

além de verificar outras informações como amplitude, 1º, 2º e 3º quartil de cada turno. (GRAF. 10).

Gráfico 10 – Boxplot do processo



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Tabela 4 - Dados - Gráfico Boxplot

Dados - Gráfico Boxplot			
Turno	1º Turno	2º Turno	3º Turno
<b>Amplitude</b>	2,76	1,75	2,49
<b>Mediana</b>	3,43	3,16	3,43
<b>1º quartil</b>	2,60	2,60	2,54
<b>3º quartil</b>	5,36	4,35	5,03

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

De acordo com a TAB. 4, o primeiro turno é o que tem a maior variabilidade dos dados, pois possui a maior amplitude no valor de 2,76 e o 2º turno é o que tem a menor variabilidade, com amplitude no valor de 1,75. O 1º e o 3º turno apresentam valores de mediana iguais de 3,43, e 2º turno no valor de 3,16, demonstrando que 50% dos dados estarão abaixo e acima deste valor.

O primeiro quartil do 3º turno é o que apresenta o melhor resultado com valor de 2,54, representando que 25% dos dados estarão abaixo deste valor e 75% acima. E no 3º quartil, quem apresenta o resultado mais satisfatório é o 2º turno, com

resultado de 4,35, demonstrando que 25% dos dados estarão acima deste valor e 75% abaixo.

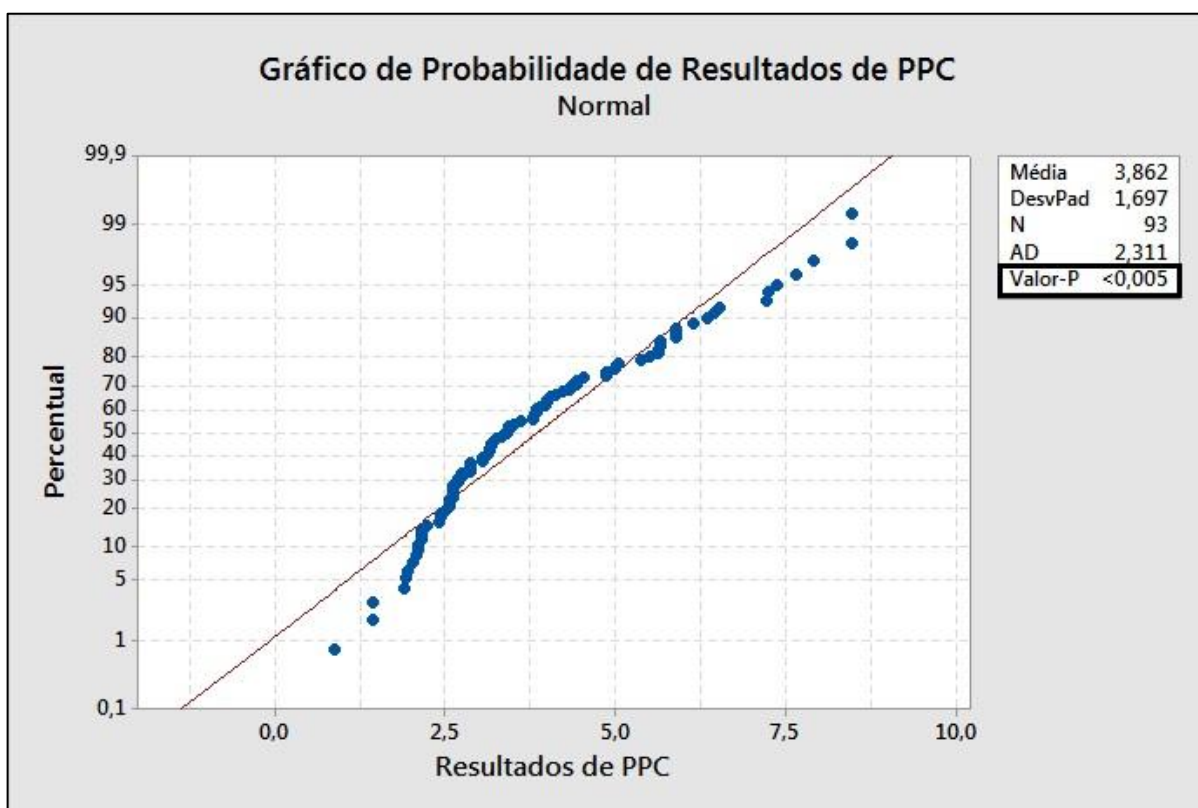
A mediana dos turnos possui valores semelhantes de 3,43; 3,16 e 3,43 respectivamente.

Em uma análise geral, embasando-se no GRAF. 10, quem demonstra melhor desempenho no processo é o 2º turno, onde, apresenta melhores resultados tendo em vista os limites de especificação.

### 7.1.5. Capabilidade e Capacidade do processo

Para verificar se os dados obedecem a uma distribuição normal, realizou-se o teste de normalidade dos dados. (GRAF. 11).

Gráfico 11 - Teste de normalidade dos dados



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Para que a distribuição dos dados seja considerada normal, o resultado do teste deve demonstrar um resultado de p-valor acima de 0,05. O teste realizado nos dados coletados obteve um resultado de p-valor menor que 0,005, concluindo que os dados em análise não obedecem a uma distribuição normal.

Com isso, realizou-se o teste de Anderson-Darling para verificar qual a distribuição que mais representa os dados em estudo.

A estatística de Anderson-Darling tem o objetivo de medir quão bem os dados seguem uma distribuição específica. Em geral, a melhor distribuição que se ajusta aos dados é caracterizada pelo menor valor resultante nesta estatística. (TAB. 05).

Tabela 5 - Verificação da distribuição

Distribuição	Anderson-Darling (aj.)
Weibull	1,656
<b>Lognormal</b>	<b>0,525</b>
Exponencial	14,845
Loglogística	0,645
Weibull de 3 Parâmetros	1,06
Lognormal de 3 Parâmetros	0,596
Exponencial de 3 Parâmetros	9,133
Loglogística de 3 Parâmetros	0,581
Menor valor extremo	4,886
Normal	2,486
Logística	2,15

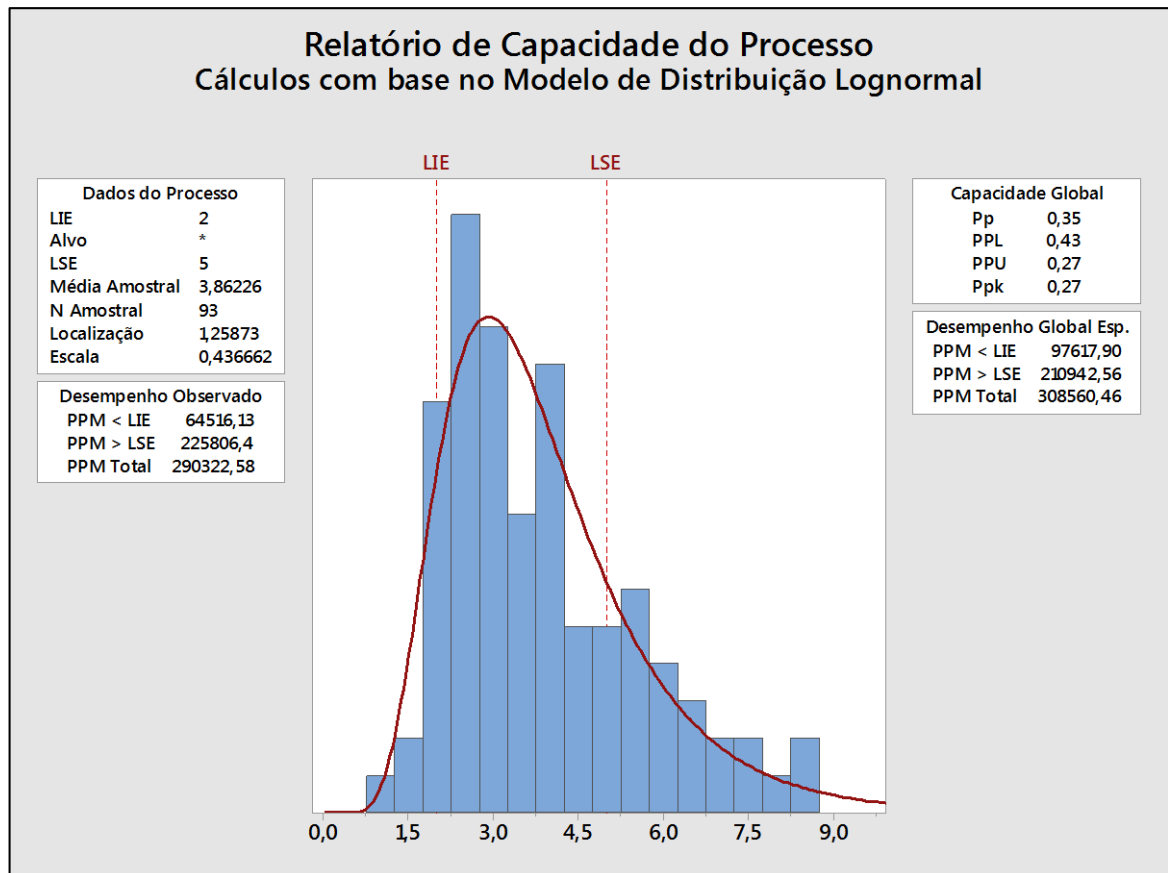
Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Diante dos resultados ilustrados na TAB. 05, a distribuição mais indicada a ser utilizada para a aplicação dos dados será a “Lognormal”, pois obteve o menor resultado no teste de Anderson-Darling.

A análise da capacidade do processo foi realizada buscando verificar a eficácia do mesmo em atender os padrões de qualidade estabelecidos e analisar o seu desempenho.

Como o processo em estudo está fora de controle estatístico, não se recomenda usar o Cp capacidade do processo a longo prazo, e o Cpk capacidade do processo real para análises, deve-se usar os índices de performance do processo Pp e Ppk. (GRAF. 12).

Gráfico 12 - Análise da capacidade do processo



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

De acordo com o GRAF.12, a análise da capacidade do processo, ilustra um valor de Pp de 0,35 e de Ppk de 0,27, demonstrando que para os dois indicadores de capacidade global o processo se mostra incapaz de atender, uma vez que, possui índices menores que 1. Este processo está fora de controle estatístico, necessitando de intervenções para melhorar o processo e reduzir a variação. O baixo valor de Pp demonstra que há uma variação maior que a faixa dos limites de especificação, que para a perda de calcinação é parametrizado em limite inferior de 2% e o superior de 5%. O baixo valor de Pk indica também que há uma variação maior que a faixa dos limites de especificação.

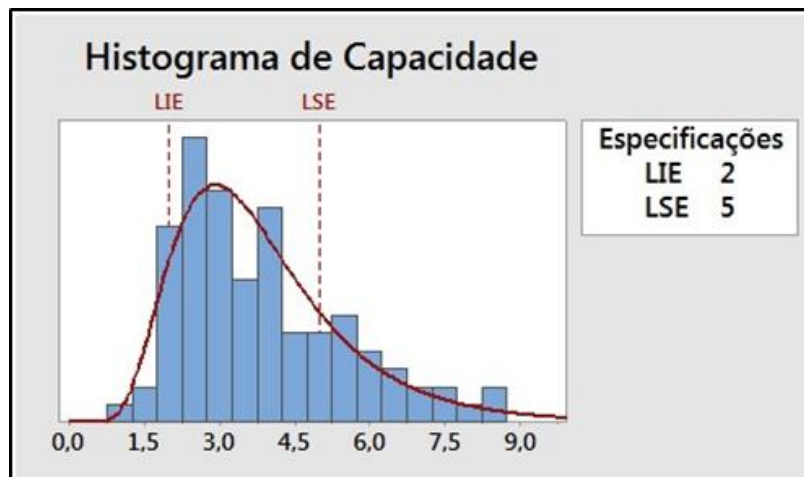
Como o valor de Pp é maior que o de Ppk, a mediana do processo está fora do ponto médio da especificação e mais próxima de um dos limites da especificação. Ao observar o GRAF. 12, verifica-se também que existe maior possibilidade do processo produzir unidades defeituosas que violam o limite de especificação superior.



O processo obteve um valor de PPM total de 308.560, que demonstra que a cada milhão de dados coletados, teremos 308.560 dados fora dos limites especificações.

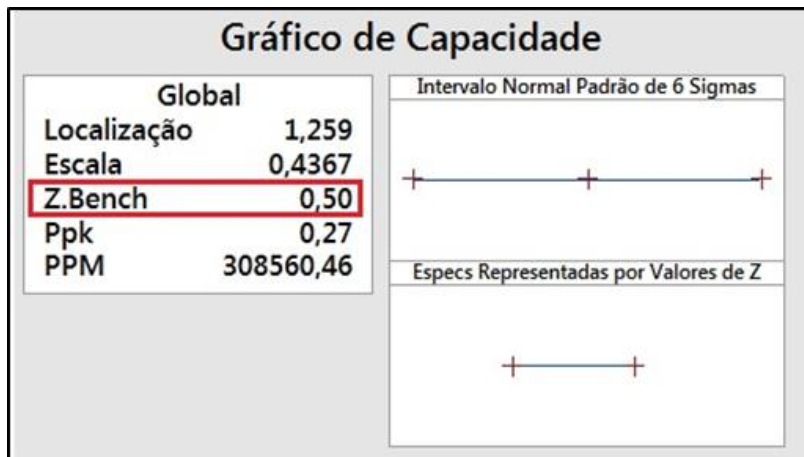
Com os dados encontrados foi calculado a capacidade que contém o processo. (GRAF. 13 e 14).

Gráfico 13 - Histograma de capacidade



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Gráfico 14 - Gráfico da capacidade



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Com os resultados encontrados, foi obtido um valor de Z.Bench (Capabilidade de longo prazo) de 0,50. Como não se utilizou subgrupos na coleta dos dados deve-se somar 1,5 ao valor do Z.Bench para se obter a capacidade de curto prazo. Este valor encontrado representará o número de sigmas do processo.

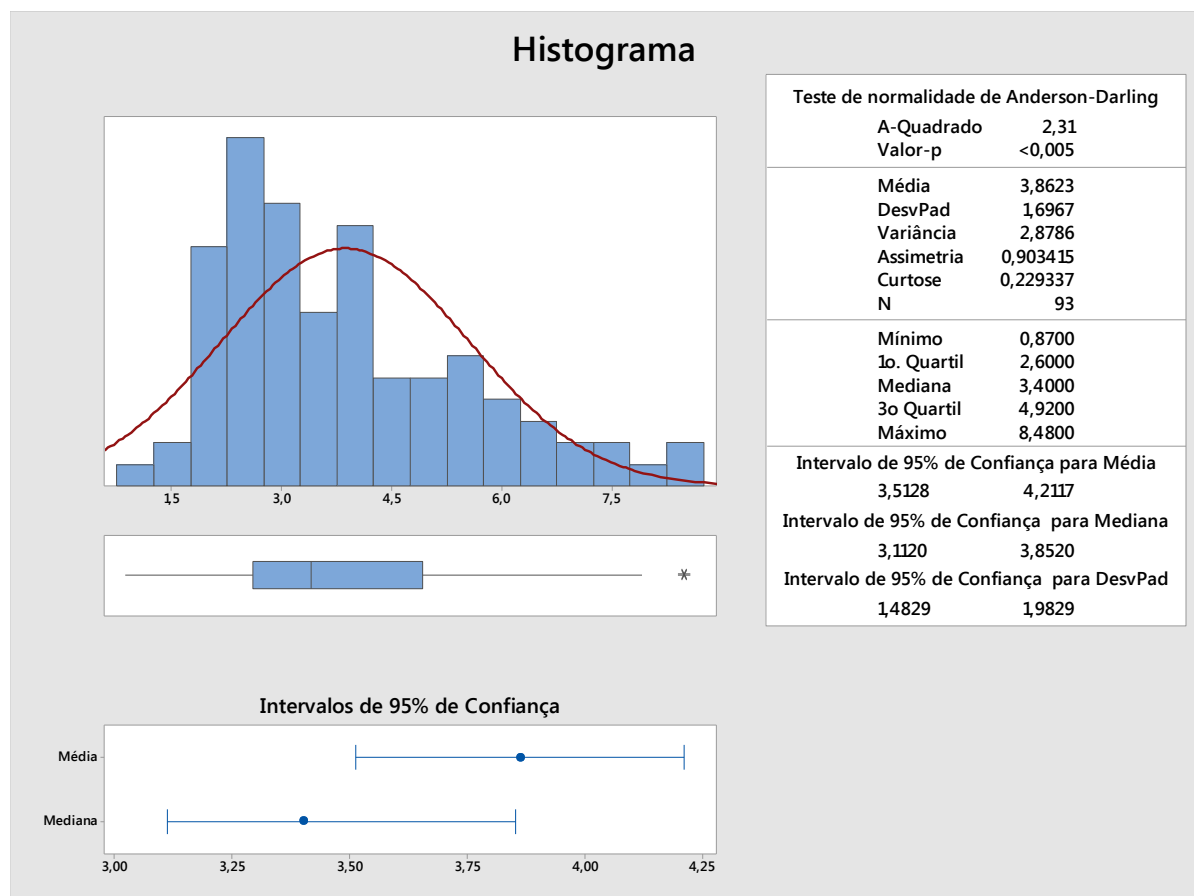
Pode-se dizer então que o processo em estudo possui “dois sigmas”.

Valores mais baixos de Z.bench indicam que talvez o processo precise de melhorias.

### 7.1.6. Histograma

O GRAF 15 ilustra o histograma da frequência dos resultados obtidos nas análises de PPC.

Gráfico 15 - Histograma do processo



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Conforme ilustra o GRAF. 15, a média dos dados possui um valor de 3,86. O desvio padrão tem um valor de 1,70, este valor indica o “erro” se em algum momento optar-se em substituir um dos valores coletados pelo valor da média. Quanto menor o desvio padrão, mais próximos os valores estão da média. Da mesma forma, quanto maior ele é, mais os valores estão distantes da média.

O 1º quartil obteve valor de 2,60. Este é o valor que ocupa a posição que divide o conjunto de dados em 2 partes:

- 25% dos dados com valores mais baixos;

- 75% dos dados com valores mais altos.

O 3º quartil obteve valor de 4,92. Este valor indica a posição que divide o conjunto de dados também em 2 partes, porém é dividido da seguinte forma:

- 75% dos dados com valores mais baixos;

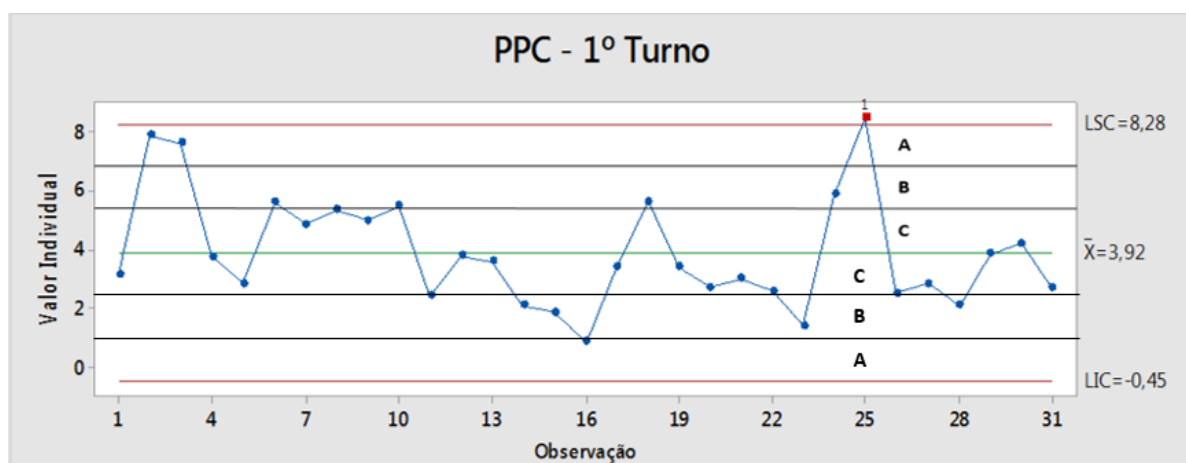
- 25% dos dados com valores mais altos.

De acordo com o GRAF. 15, em um intervalo de 95% de confiança os valores para média de PPC estarão entre 3,51 e 4,21%.

### 7.1.7. Gráfico de controle

Os gráficos de controle foram usados para monitorar o processo da empresa em estudo, onde os GRAF. 16, 17 e 18 referem-se ao 1º, 2º e 3º turno de trabalho analisados referente ao mês de julho do ano de 2017.

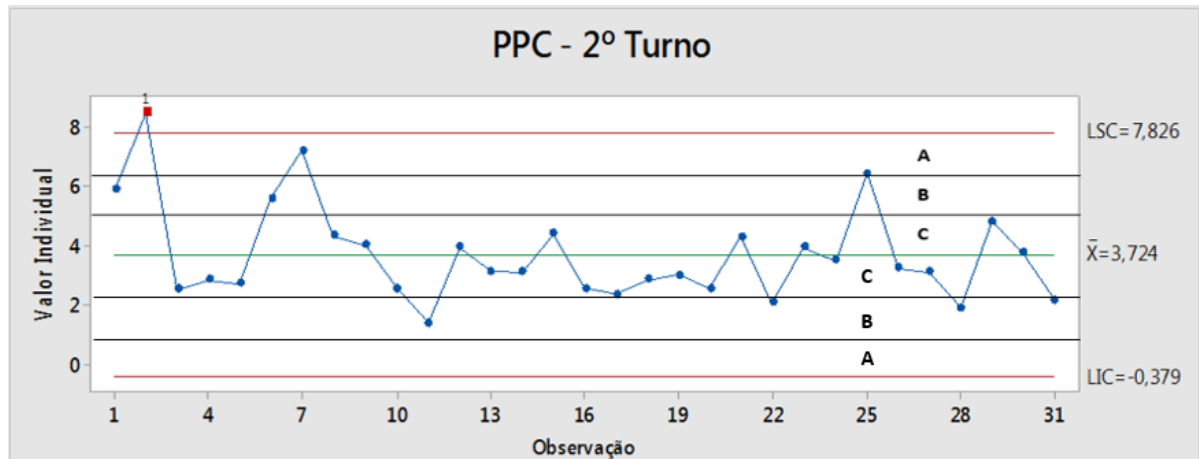
Gráfico 16 - Gráfico de controle - 1º turno



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

De acordo com o GRAF. 2, o processo está fora de controle quando se observa a existência de pontos acima dos limites de controle. Também, conforme o GRAF. 05 não podem existir quatorze ou mais pontos sucessivos alternando entre subidas e descidas. Ainda existem dois de três pontos sucessivos que estão do mesmo lado, na zona A ou além, assim, conclui-se que o processo está fora de controle.

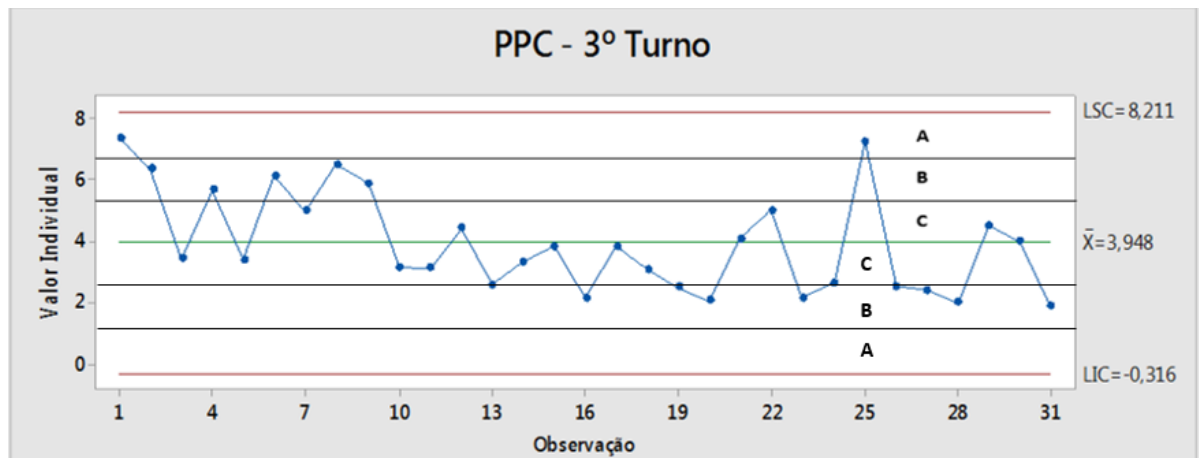
Gráfico 17 - Gráfico de controle - 2º turno



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

O 2º turno ilustrou as mesmas características do 1º turno, podendo afirmar assim que o processo está fora de controle.

Gráfico 18 - Gráfico de controle - 3º turno



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

De acordo com o GRAF.05, não podem existir quatorze ou mais pontos sucessivos alternando entre subidas e descidas. Segundo o GRAF. 04, oito ou mais pontos sucessivos não podem estar de um mesmo lado da linha da média, sendo assim, conclui-se que no 3º turno também o processo está fora de controle.

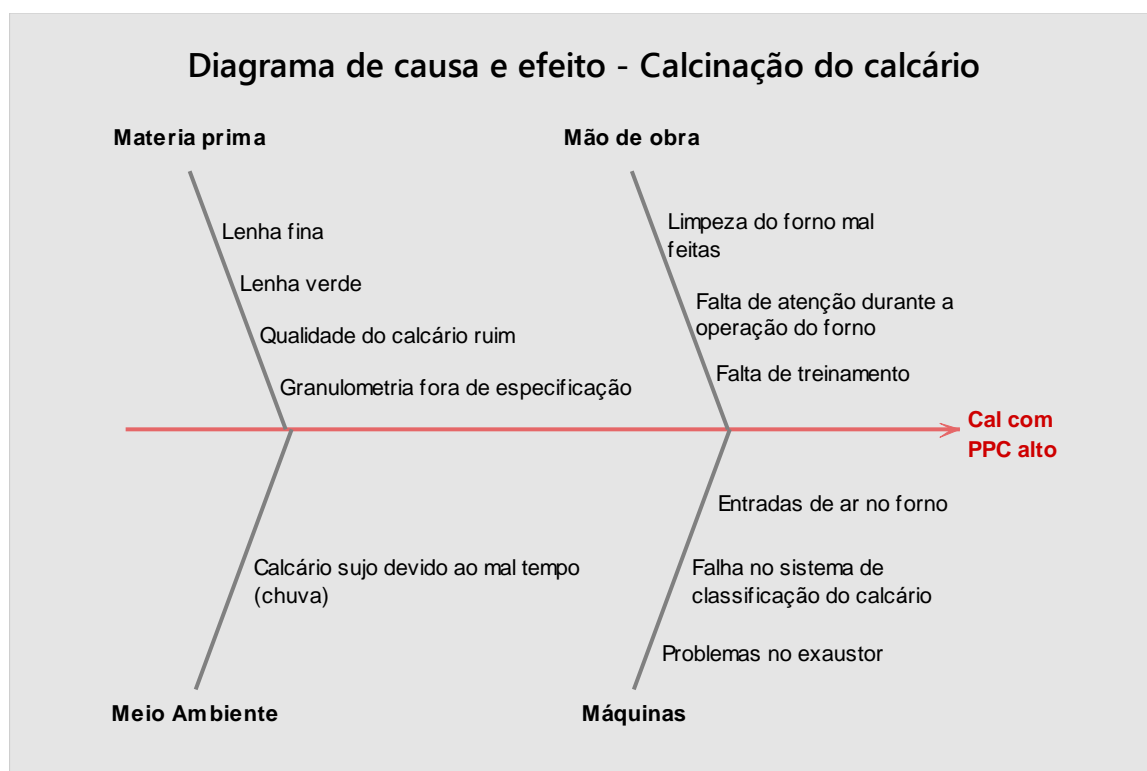
Em todas as situações em que os resultados estiveram fora dos limites de controle, foram realizadas ações corretivas de modo a solucionar o problema. Estas ações, na maioria das vezes se deram pelo aumento do tempo de hospedagem do calcário dentro do forno, tendo assim uma produção do produto com o PPC mais baixo.

### 7.1.8. Diagrama de causa ou efeito

Buscando um melhor entendimento das causas que estão tirando o processo de controle estatístico, foi realizado um estudo dos possíveis fatores que podem causar as variações no PPC da cal. Com isso, elaborou-se um brainstorming com a equipe da empresa com a finalidade de obter o maior número de informações sobre o processo de calcinação e as possíveis causas que levem a operação fora das especificações.

A aplicação desta ferramenta foi de grande importância para a percepção das possíveis causas para o problema. A FIG. 13 ilustra o diagrama de causa e efeito realizado.

Figura 13 – Diagrama de causa e efeito



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

### 7.1.9. Matriz de causa e efeito

Buscando auxiliar na priorização das possíveis causas relatadas no diagrama de causa e efeito (FIG. 13), e analisar em primeira instância o que pode estar afetando ou não o processo, construiu-se a matriz de causa e efeito. (TAB. 06).

Tabela 6 - Matriz de causa e efeito

ANALISAR Matriz de Causa e Efeito													
10 - 9 - 8: Forte correlação				7 - 6 - 5 - 4: Média correlação						3 - 2 - 1: Baixa correlação			
Entrevistados		Entrevistado 1		Entrevistado 2		Entrevistado 3		Entrevistado 4		Média dos Entrevistados		Esforço da Variável de Entrada	Impacto da Variável de Entrada
X's do Processo: "Valor de PPC alto"		Esforço	Impacto	Esforço	Impacto	Esforço	Impacto	Esforço	Impacto	Esforço	Impacto		
X1	Lenha fina	Baixo	3	Baixo	2	Baixo	2	Baixo	2	Baixo	2	Baixo	Baixo
X2	Lenha verde	Baixo	5	Baixo	3	Baixo	2	Baixo	3	Baixo	3	Baixo	Baixo
X3	Sistema de classificação do calcário falho	Alto	8	Alto	7	Alto	6	Baixo	7	Alto	7	Alto	Alto
X4	Entradas de ar no forno	Baixo	9	Alto	8	Alto	9	Alto	7	Alto	8	Alto	Alto
X5	Problemas no exaustor	Baixo	3	Baixo	2	Baixo	4	Baixo	3	Baixo	3	Baixo	Baixo
X6	Qualidade do calcário ruim	Baixo	9	Baixo	10	Baixo	9	Baixo	9	Baixo	9	Baixo	Alto
X7	Granulometria fora de especificação	Baixo	7	Baixo	8	Baixo	9	Baixo	9	Baixo	8	Baixo	Alto
X8	Calcário sujo	Baixo	3	Alto	2	Alto	2	Alto	1	Alto	2	Alto	Baixo
X9	Limpezas do forno mal feitas	Baixo	8	Baixo	10	Baixo	9	Baixo	9	Baixo	9	Baixo	Alto
X10	Falta de atenção na operação do forno	Baixo	8	Baixo	7	Baixo	10	Baixo	10	Baixo	9	Baixo	Alto
X11	Falta de treinamento operacional	Alto	6	Alto	5	Baixo	3	Alto	4	Alto	5	Alto	Alto

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

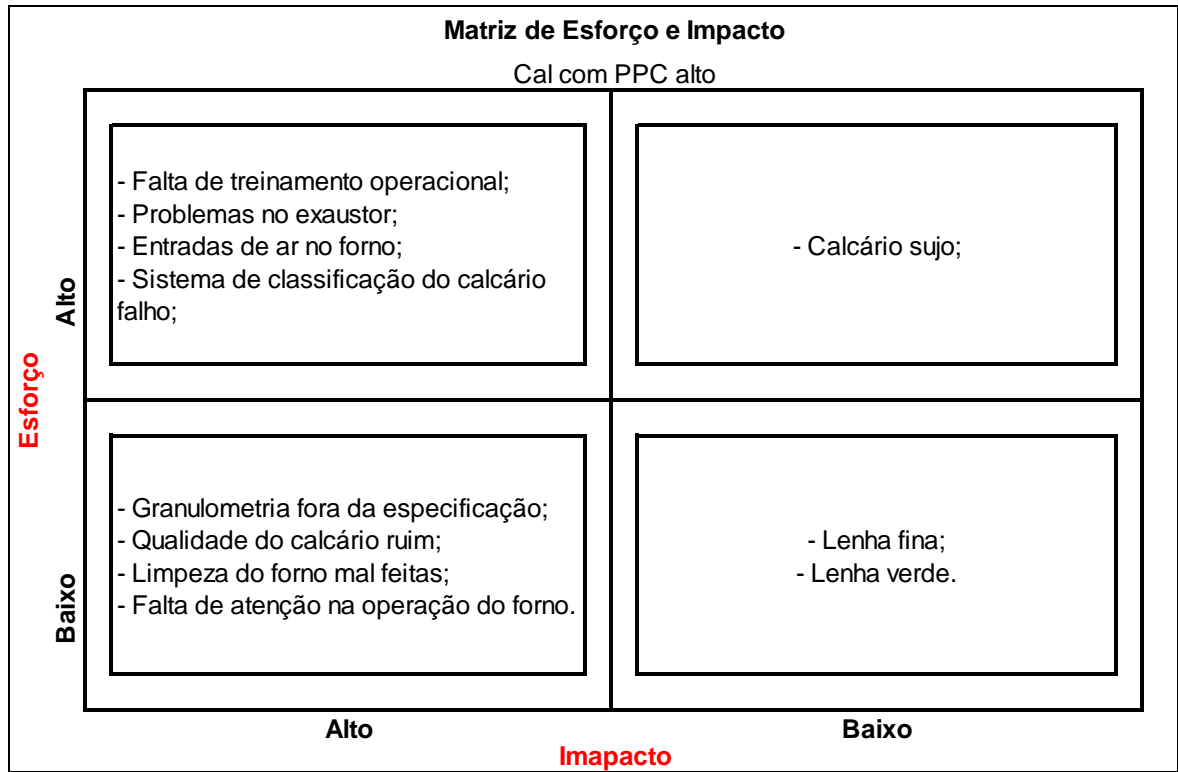
Para sua construção, foram entrevistados dois operadores do forno, considerados os mais experientes da empresa, um gerente e um gestor de produção. Cada entrevistado deu sua nota referente ao impacto e esforço que cada causa levantada no diagrama de causa e efeito tinha na perda por calcinação, sendo que nota 0 para menor impacto e nota 10 para o maior impacto no PPC.

Também foi colhida a opinião de cada participante sobre o esforço necessário para solucionar a causa de falha. Neste tópico, avaliou-se como baixo esforço e alto esforço a realizar-se na solução da causa que pode estar causando a variação do PPC na cal.

#### 7.1.10. Matriz de esforço e impacto

Para implementar a matriz de causa e efeito, construiu-se a matriz de esforço e impacto, buscando auxiliar na seleção das possíveis causas que deverão ser atacadas primeiramente. (FIG.14).

Figura 14 - Matriz de esforço e impacto



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Conforme ilustra a FIG. 14, as possíveis causas de granulometria fora de especificação, qualidade do calcário ruim, limpezas mal feitas no forno e falta de atenção do operador na operação do forno, devem ser atacadas primeiramente por gerarem maior impacto e menor esforço para empresa, e as demais variáveis poderão ser atacadas em seguida, privilegiando as que exercem maior impacto.

#### 7.1.11. Plano de ação (5W1H)

Conforme a metodologia da matriz de esforço e impacto selecionou-se variáveis que necessitam de pequeno esforço e geram um grande impacto de melhoria no processo. Com isso, deve-se criar um plano de ação para atacá-las primeiramente. (QUADRO. 5).

Quadro 5 - Plano de ação 5W1H

PLANO DE AÇÃO						
Nome da Organização: Empresa de Calcinação						
Responsável pelo P. A.: Mardem Rezende			Data de elaboração do P. A.: 15/08/2017			
O QUE?	QUEM FARÁ?	ONDE?	QUANDO?	POR QUE?	COMO FAZER?	
1	Granulometria fora de especificação	Setor da qualidade	Fornecedor	Imediato	Granulometria a baixa faz com que o forno se abafe.	Contactar o fornecedor, solicitando a ele a alteração no sistema de classificação do calcário.
2	Qualidade do calcário ruim;	Setor da qualidade	Fornecedor	Imediato	Poder de calcinação baixo, não atende as especificações dos clientes.	Contactar o fornecedor, solicitando a ele a mudança do banco de detonação.
3	Limpeza do forno mal feitas	Auxiliar de produção	Forno	Imediato	Causa abafamento do forno.	De acordo com a instrução de trabalho elaborada para esta tarefa. Revisar o procedimento e realizar treinamento dos auxiliares de produção.
4	Falta de atenção na operação do forno	Operador do forno	Forno	Imediato	Faz com que a produção do produto não saia com qualidade.	Realizar um treinamento com todos os operadores, ilustrando como operar o forno de forma adequada, mostrando a importância de se operar o forno de acordo com a instrução de operação do equipamento disponibilizada a eles.

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

De acordo com o QUADRO 5, a primeira ação a ser realizada foi contatar o fornecedor, agendando uma visita na empresa. Onde foram tratados os assuntos sobre a granulometria do calcário sugerindo a troca da tela da peneira de classificação, buscando aumentar a granulometria do mesmo e a alteração do banco que está sendo detonado. Com o objetivo de encontrar um banco que esteja com o poder maior de calcinação, onde após ser calcinado irá atender todas as especificações impostas.

A segunda ação foi realizar um planejamento onde será feito periodicamente treinamentos dos colaboradores, conscientizando-os sobre a importância de se trabalhar de acordo com os procedimentos e instrução de trabalho estabelecida, buscando melhorar a eficácia nas limpezas do forno e principalmente a operação do mesmo, com o intuito de garantir a qualidade e a satisfação dos clientes.



## 8. CONCLUSÕES

Foi verificado através das cartas de controle que o processo da empresa está fora de controle estatístico. Recomenda-se que esta ferramenta seja feita online, pois permitirá que a empresa tome decisões mais rápidas sobre as causas de variabilidade do processo.

Tendo em vista os resultados encontrados na análise da capacidade do processo, observou-se que o processo possui valores baixos de Pp e Ppk, concluindo que o processo é incapaz de produzir o produto dentro dos limites de especificação.

Com o gráfico Box plot, observou-se que o 2º turno é o que possui o melhor desempenho dentro do processo, operando com uma grande proporção dentro dos limites de especificação, possuindo uma menor variabilidade entre os outros turnos.

A execução do plano de ação atuará no sentido de reduzir a variabilidade, após um tempo que as ações sugeridas forem implementadas, o índice de Pp, Ppk e capacidade do processo deverá ser recalculado para verificar a eficácia destas ações.

Através do estudo, pode-se afirmar que com o uso das ferramentas da qualidade foi possível encontrar e analisar quais as possíveis causas que atuam no processo, aumentando sua variabilidade e provocando que o mesmo fique fora de controle estatístico.

Com as ferramentas aplicadas, pode-se concluir que uma grande melhoria na qualidade do processo pode ser conseguida sem muito esforço em um modo geral. Através de treinamentos e eficácia do setor da qualidade na avaliação da matéria prima, consegue-se que produzir produtos dentro das especificações impostas constantemente.

Com a proposta da implementação da metodologia do CEP, foi possível atingir o objetivo do estudo, podendo perceber quais são as etapas ineficientes do processo. Com as oportunidades de melhorias sugeridas e as mesmas sendo aplicadas, a empresa poderá obter uma melhoria em sua produtividade. Eliminando todos os gastos e insatisfação de clientes, gerados com as não conformidades existentes no processo.

## REFERÊNCIAS

ALGARTE, W.; QUINTANILHA, D. **A história da qualidade e o programa brasileiro da qualidade e produtividade (PBQP)**. Rio de Janeiro: INMETRO/SENAI, 2000.

ALMEIDA, A.R.C. **Gestão operacional da qualidade: uma abordagem prática e abrangente no setor florestal**. Campinas: Editora da Unicamp, 2000.

ALVAREZ, M. E. B. **Administração da Qualidade e da Produtividade: abordagens do processo administrativo**. São Paulo: Atlas, 2001. 484 p.

ARAÚJO, L. C. G. de. **Organização, sistemas e métodos e as modernas ferramentas de gestão organizacional: arquitetura, benchmarking, empowerment, gestão pela qualidade total, reengenharia**. São Paulo: Atlas, 2001. 311p.

BACHMANN, Dorian. Guia para a Inovação: Instrumento de orientação de ações para melhoria das dimensões da Inovação. **Sebrae**, Curitiba, p.1-115, 2008.

BALLESTRO-ALVAREZ, Maria Esmeralda. **Administração da Qualidade e da Produtividade: abordagem do processo administrativo**. São Paulo: Atlas, 2001.

BARÇANTE, Luiz Cesar. **Qualidade Total, uma nova visão brasileira: O impacto estratégico na universidade e na empresa**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1998.

BUSSAB, W. O. e MORETTIN, P. A.; **Estatística Básica**, 6a ed. São Paulo - SP: Saraiva, (2010), 540p

BONILLA, J.A. **Métodos quantitativos para a qualidade total na agricultura**. Contagem: Littera Maciel, 1995.

BRANDSTETTER, M. C. G; BUCAR, R. S. **Proposta metodológica para identificação de falhas em processos produtivos mediante o uso de ferramentas de controle da qualidade e pesquisa operacional**. In: XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Anais. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2008.

CALDEIRA, F.J. **O Controle Estatístico do Processo como Ferramenta de Análise**. Santa Catarina, UFSC, 1998. p 31-49.

CAMPOS, V.F. **Controle de Qualidade Total** (no estilo japonês). Belo Horizonte, MG: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999. p 9-15

CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC – Controle da qualidade total: Estilo japonês**. 8ª edição. Nova Lima: INDG- Tecnologia e serviços, 2004.

- CARBURON, J.; MORALES, D. **Aplicação do Controle Estatístico de Processo em uma Indústria do setor metal-mecânico**: um estudo de caso. In: **SIMPEP**, 13, 2006, Bauru, São Paulo, 2006.
- CARUSO, D. M.; HELLENO, A. L. **Seis Sigma: uma abordagem conceitual como metodologia de gestão ou ferramenta para melhoria da qualidade**. In: XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção A Engenharia de Produção e o Desenvolvimento Sustentável: Integrando Tecnologia e Gestão. Anais. Salvador, BA, Brasil, 06 a 09 de outubro de 2009.
- CARVALHO, M. M.; RABECHINI JR., R. **Fundamentos em gestão de projetos**: construindo competências para gerenciar projetos. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2011.
- CHAVES, J. B. P.; TEIXEIRA, M. A. **Controle Estatístico de Qualidade – inspeção por amostragem/ mapas de controle**. DTA/UFV. Viçosa, MG: (s.n.), 1997. 162 p.
- CORAIOLA, J. A. **Gerenciamento da Rotina: Uma metodologia das ferramentas da qualidade numa disciplina específica do curso superior de tecnologia em eletrotécnica do CEFET-PR**. Dissertação em Engenharia de Produção e Sistemas, UFSC, 2001.
- CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de Produção e Operações: uma abordagem estratégica**. 2. ed. 3 reimpr. São Paulo: Atlas, 2008. 690 p.
- CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON, M. **Planejamento, Programação e controle da produção**: MRP II/ERP Conceitos, uso e implantação base para SAP, Oracle Applications e outros Softwares integrados de Gestão. 5 ed. 3. reimpr. São Paulo: Atlas, 2009
- CORRÊA, H. L.; CORRÊA, A. C. **Administração de produção e operações**: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2012.
- COSTA, A. F. B.; EPPRECHIT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle Estatístico de Qualidade**: Métodos Estatísticos. São Paulo: Atlas, 2005.
- DAL'CORTIVO, Z. **Aplicação do controle estatístico de processo em sequências curtas de produção e análise estatística de processo através do planejamento econômico**. 2005. 166p. Dissertação (Mestrado Métodos numéricos em Engenharia) – Universidade Federal do Paraná (UFP).
- FEIGEBAUM, W. V. **Controle da qualidade total**. São Paulo: Makron Books, 1994.
- FERREIRA, P. O.; MEDEIROS, P. G.; OLIVEIRA, L. M. **Utilização do controle estatístico do processo para o monitoramento do peso médio de cápsulas de tuberculostáticos: um estudo de caso**. In: XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Anais. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2008.

FOLLADOR, F. A. C., VILAS BOAS, M. A., MALMANN, L., SCHOENHALS, M., VILLWOCK, R. Controle de Qualidade da Água medido através de Cartas de Controle de Shewhart, Cusum e MMEP. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 9, n. 3, p. 183-197, jul/set 2012.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2010.

INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA. **Manual de Referência**. Controle Estatístico do Processo (CEP). São Paulo, 2005.

JURAN, J. M.; GRZYNA, F. M. **Controle da qualidade**. São Paulo: Makron Books do Brasil, 1991.

JURAN, J. M. **A Qualidade desde o projeto**: os novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços. São Paulo: Editora Guazzelli Ltda., 1992.

JURAN, Joseph M. **Juran's Quality Handbook**. 5ª edição. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1998.

JURAN, J. M. **A qualidade desde o projeto**: os novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2001.

KRAJEWSKI, L. J.; RITZMAN, L.; MALHOTRA, M. **Administração de Produção e Operações**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009. 615 p.

KUME, Hitoshi. **Métodos estatísticos para melhoria da qualidade**. 11ª edição. São Paulo: Editora Gente, 1993.

LAS CASAS, A. L. **Qualidade total em serviços**. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2000.

LONGO, R. M. J. **Gestão da Qualidade**: Evolução Histórica, Conceitos Básicos e Aplicação na Educação. In: Seminário Gestão da Qualidade na Educação: em busca da Excelência, Brasília: IPEA, 1996.

LOURENÇO FILHO, R. C. B. **Controle estatístico de qualidade**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1976.

MADRAS, T. T. T. I. **Controle de Qualidade**. Traduzido por: Flávio Deny Steffen. São Paulo-SP: McGraw-Hill, 1990. p 1-54.

MAICZUK, J.; ANDRADE JÚNIOR, P. P. **Aplicação de ferramentas de melhoria de qualidade e produtividade nos processos produtivos: um estudo de caso**. *Qualitas Revista Eletrônica*, s.l.: 2013. v. 14, n. 1, p.1-14, 2013.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2004.

MOREIRA, D. A. **Administração da Produção e Operações**. 5 ed. São Paulo- SP: Pioneira, 2000. p 463-586.

OLIVEIRA, O. J. et al. (Org.). **Gestão da qualidade: tópicos avançados**. São Paulo: Cengage Learning, 2004.

OLIVEIRA, S. T. **Ferramentas para o aprimoramento da qualidade**. 2ª ed. São Paulo: Pioneira, 1996.

PALADINI, E. P. **Gestão da Qualidade no Processo: a qualidade na produção de bens e serviços**. São Paulo: Atlas. 1995.

PALADINI, E.P. **Qualidade Total na Prática**. Implantação e Avaliação de Sistemas de Qualidade Total. 2 ed. São Paulo-SP: Atlas, 1997. p 16-62.

PARIS, W. S. **Sistemas da Qualidade – Parte 2: Material de apoio dos seminários**. Curitiba, PR, out. 2002.

PEINADO, J; GRAEML, A. R. **Administração da produção: operações industriais e de serviços**. Curitiba:UnicenP, 2007. 750 p.

REIS, M. M. *Um modelo para o ensino do controle estatístico da qualidade*. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (SC).

RIBEIRO, J. D. L., TEN CATEN, C. S. **Controle Estatístico do Processo: Cartas de Controle para Variáveis, Cartas de Controle para Atributos, Função de Perda Quadrática, Análise de Sistemas de Medição**. 2012. 172 f.– Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Fundação Empresa Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

RODRIGUES, G.P. **Controle Estatístico de Qualidade e de Processo na Indústria de Alimentos**. 1998. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Viçosa, MG, 1998. p 152.

SAMOHYL, R. W. **Controle Estatístico da Qualidade: Métodos Estatísticos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

SAMPAIO, João Alves; ALMEIDA, Salvador Luiz Matos de. Calcário e Dolomito. **Rochas e Minerais Industriais – Cetem**, Rio de Janeiro, v. 2, p.363-391, 2008.

SCHOLTES, P. R. **Times da qualidade: como usar equipes para melhorar a qualidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992.

SEBRAE. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Praticando qualidade**. Belo Horizonte: SEBRAE, 1994.

SENAI (Serviço Nacional de Apoio à Indústria). **Elementos de Apoio para o Sistema APPCC**. 2 ed. Brasília-DF, 2000. (Série Qualidade e Segurança Alimentar). Projeto APPCC Indústria. Convênio CNI/SENAI/SEBRAE. p 297-352.

SETA. Desenvolvimento Gerencial. **Seis sigma: ferramentas e estatística básica** para melhoria dos processos: incluindo dicas para usar minitab 16. Campinas: s.n.,2013.

SILVA, Alecir. **Notas de Aula Universidade de Itaúna**: Itaúna: Proprio Autor, 2009. 100 slides, color.

SOARES, B. D. Estudo da produção de óxido de cálcio por calcinação do calcário: caracterização dos sólidos, decomposição térmica e otimização paramétrica. 2007. 383 f. **Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Uberlândia**, Uberlândia, 2007.

VIEIRA, Sônia. **Estatística para a qualidade: como avaliar com precisão a qualidade em produtos e serviços**. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

WERKEMA, M. C. C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, v. 2, 1995.

WERKEMA, M. C. C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Werkema Editora, 2006.

## ANEXO A - Histórico da qualidade

Época	Foco	Fato Gerador	Qualidade	Ênfase	Instrumentos
1950	Padrões	Produção em massa	Atendimento aos padrões estabelecidos no projeto do produto	Interna, dentro da empresa; importância dada aos interesses do consumidor	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Padronizar</li> <li>* Inspeção</li> <li>* Controle estatístico do processo</li> </ul>
1960	Usos	Consumidor	Atendimento do uso que o consumidor pretende para o produto oferecido	Externa, o cliente é o mais importante; deve atender-se aos interesses do consumidor.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Pesquisa de mercado</li> <li>* Análise de tendências</li> <li>* Início do envolvimento interfuncional na empresa</li> <li>* Estrutura matricial</li> </ul>
1970	Custos	Crise do petróleo	Atendimento do mercado consumidor com custos de produção mais baixos	Interna, dentro da empresa; início do controle do processo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Controle total de qualidade</li> <li>* Círculos de controle de qualidade</li> <li>* Novas práticas de qualidade</li> </ul>
1980	Desejos	Mudanças sociais e políticas	Antecipar-se às necessidades do cliente	Externa, o cliente é o mais importante; integração; competição.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Gestão do processo</li> <li>* Sondagens de mercado</li> <li>* Controle da qualidade gerencial</li> <li>* Novas aplicações</li> <li>* Novas formas de estruturas organizacionais</li> </ul>
1990	Investidor	Globalização	Reconhecimento do valor do produto	Mista: interna, dentro da empresa; externa, economia global.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Todas as anteriores</li> <li>* Análise Global</li> <li>* Decisões estratégicas</li> <li>* Importância das pessoas</li> <li>* Preocupação ambiental</li> <li>* Quebra de paradigmas</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Alvares (2001).

**ANEXO B - Fatores para construção de gráficos de controle para variáveis**

**APÊNDICE VI** Fatores para Construção de Gráficos de Controle para Variáveis

Observações na Amostra, <i>n</i>	Gráfico para Médias			Gráficos para Desvios Padrão						Gráficos para Amplitudes							
	Fatores para Limites de Controle			Fatores para Linha Central		Fatores para Limites de Controle				Fatores para Linha Central		Fatores para Limites de Controle					
	<i>A</i>	<i>A</i> <sub>2</sub>	<i>A</i> <sub>3</sub>	<i>c</i> <sub>4</sub>	1/ <i>c</i> <sub>4</sub>	<i>B</i> <sub>3</sub>	<i>B</i> <sub>4</sub>	<i>B</i> <sub>5</sub>	<i>B</i> <sub>6</sub>	<i>d</i> <sub>2</sub>	1/ <i>d</i> <sub>2</sub>	<i>d</i> <sub>3</sub>	<i>D</i> <sub>1</sub>	<i>D</i> <sub>2</sub>	<i>D</i> <sub>3</sub>	<i>D</i> <sub>4</sub>	
2	2.121	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	2.575	
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	2.115	
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	

Para *n* > 25.

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

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

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

Fonte: Adaptado de Montgomery (2004).



### APÊNDICE A - Folha de verificação referente aos resultados de PPC

Data	1º Turno	2º Turno	3º Turno
	PPC (%)	PPC (%)	PPC (%)
01/07/2017	3,18	5,89	7,36
02/07/2017	7,91	8,48	6,34
03/07/2017	7,64	2,54	3,43
04/07/2017	3,77	2,86	5,66
05/07/2017	2,87	2,73	3,40
06/07/2017	5,63	5,62	6,13
07/07/2017	4,86	7,21	4,98
08/07/2017	5,36	4,35	6,52
09/07/2017	5,00	4,03	5,88
10/07/2017	5,49	2,60	3,16
11/07/2017	2,43	1,43	3,13
12/07/2017	3,81	3,96	4,43
13/07/2017	3,60	3,16	2,60
14/07/2017	2,10	3,13	3,33
15/07/2017	1,90	4,43	3,84
16/07/2017	0,87	2,60	2,15
17/07/2017	3,43	2,40	3,84
18/07/2017	5,66	2,86	3,10
19/07/2017	3,40	3,03	2,51
20/07/2017	2,74	2,60	2,06
21/07/2017	3,03	4,32	4,10
22/07/2017	2,60	2,10	5,03
23/07/2017	1,43	3,98	2,15
24/07/2017	5,89	3,51	2,67
25/07/2017	8,48	6,45	7,24
26/07/2017	2,54	3,25	2,54
27/07/2017	2,86	3,12	2,41
28/07/2017	2,13	1,94	2,00
29/07/2017	3,87	4,85	4,52
30/07/2017	4,21	3,79	3,98
31/07/2017	2,69	2,21	1,89

Fonte: Dados da pesquisa (2017).