

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

MYKAELLA KEILHOLD MATSUBARA

**DIFUSÃO NA APLICAÇÃO DE TÉCNICAS PARA AVALIAR A
CAPABILIDADE DE PROCESSOS NAS EMPRESAS BRASILEIRAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO

2016

MYKAELLA KEILHOLD MATSUBARA

**DIFUSÃO DA APLICAÇÃO DE TÉCNICAS PARA AVALIAR A
CAPABILIDADE DE PROCESSO NAS EMPRESAS BRASILEIRAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica – DAMEC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. José Tomadon Junior

CORNÉLIO PROCÓPIO

2016



**Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento Acadêmico de Mecânica
Curso de Engenharia Mecânica**



FOLHA DE APROVAÇÃO

Mykaella Keilhold Matsubara

Difusão da Aplicação de Técnicas para Avaliar a Capabilidade de Processos nas Empresas

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 10:00hs do dia 17/11/2016 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira Mecânica no programa de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Dr(a). José Tomadon Júnior - Presidente (Orientador)

Engenheiro(a) Esp. Carlos De Nardi - (Membro)

Prof(a). Dr(a) Marcio Jacometti - (Membro)

A folha de aprovação assinada encontra-se na coordenação do curso.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família: meu pai, minha mãe e meu irmão, que sempre estiveram ao meu lado independentemente da situação. Espero que esse diploma possa trazer um pouco de orgulho em seus corações.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente meu professor orientador, Prof. Dr. José Tomadon Junior, por todo o conhecimento passado, pela paciência e dedicação comigo e com meu trabalho, pelas dúvidas tiradas e pelos momentos em que foi mais que um professor, foi um amigo.

Agradeço aos professores Márcio Jacometti e Carlos De Nardi por aceitarem fazer parte da minha banca examinadora e por serem, também, muito mais que mentores.

Agradeço aos meus companheiros de curso Lucas Codeco, Bruno Testa, João Marcelo Bernardi e Augusto Kanabara pelas incontáveis noites de estudo que sempre resultavam em jantares gourmet, além de fazerem minhas aulas muito mais divertidas.

RESUMO

Para suprir a necessidade de seus consumidores, as empresas têm investido em meios para melhorar suas linhas produtivas. Uma das alternativas encontrada foi fazer uma análise utilizando índices de capacidade do processo para evitar que mercadorias defeituosas sejam produzidas, bem como evitar perdas por desperdício. O objetivo deste trabalho é verificar a difusão da aplicação de técnicas para avaliar a capacidade de processos nas empresas brasileiras e para que esse objetivo seja cumprido, foram identificadas publicações com estudos práticos em indústrias. Posteriormente, foram levantadas informações chaves para que pudesse ser feito o estudo da difusão das informações. Para maior credibilidade e confiabilidade de pesquisa, foi utilizado o método de revisão bibliográfica sistemática, que consiste em um procedimento científico, de ordem investigatória, para busca e análise de materiais previamente publicados sobre um determinado tema. Após o levantamento de dados, foi verificado que apesar da dificuldade em se encontrar estudos relevantes, o estudo da capacidade do processo através da análise dos índices C_p e C_{pk} mostrou um aumento com o passar dos anos. Foi possível observar também que todos os dados coletados possuem distribuição normal, evidenciando a amplitude da capacidade de processos - os dados podem ter distribuição não normal, gerando uma nova ramificação para estudos futuros. Os resultados analisados mostraram ainda um grande número de processos incapazes de produzir dentro das tolerâncias.

Palavras chave: Difusão da capacidade de processos, Índices de capacidade, Estudos de caso.

ABSTRACT

In order to fulfill the needs of its customers, the companies have been searching different ways to improve their production line. The alternative was to make an analysis using the capability indexes, avoiding the production of defective products and also unnecessary losses. The objective of this project is to check the diffusion of the application of techniques to evaluate the capability of process in the industries, and to this goal to be achieved, publications about the subject matter were found. After that, the study of the diffusion was made by key information. To greater credibility and reliability of this research, it was used the method of systematic literature review. It is a scientific procedure to investigate, to search and to analyze previous publications about a subject. Despite of the difficulty of finding relevant articles, the data showed that the study using the capability indexes – Cp and Cpk – increased over the years. It also proved that all data have normal distribution, and most results are about processes unable to produce within tolerance.

Key words: Capability diffusion, Capability indexes, Case study.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Evolução da metodologia Seis Sigma.....	20
Figura 2: Gráfico demonstrativo de sigmas.....	21
Figura 3 - Histograma de uma distribuição normal X Histograma de uma distribuição não normal	23
Figura 4 - Gráfico de uma distribuição normal.....	24
Figura 5 - Comparação da variação natural do processo com a faixa de especificação que é requerida.....	27
Figura 6 - Gráfico de uma distribuição não normal.....	30
Figura 7 – Gráfico do ano de publicação.....	40
Figura 8 – Evolução das publicações relevantes de acordo com o tempo.....	49
Figura 9 – Local de publicação.....	50
Figura 10 – Índices de capacidade utilizados	51
Figura 11 – Processo capaz X incapaz	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação entre PPM, Cp, Cpk e Custo da Má Qualidade.....	22
Tabela 2: Roteiro para desenvolvimento da RBS.....	34
Tabela 3 - STRINGS de busca.....	36

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Cronograma de execução	37
Quadro 2 – Critério de semelhanças das publicações analisadas	46
Quadro 3 – Tipificação das empresas das publicações analisadas	47
Quadro 4 – Motivação de adoção de índices de capacidade das empresas analisadas	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Capes	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior
CEO	<i>Chief Executive Officer</i> (diretor executivo)
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (organização internacional para padronização)
LSE	Limite superior de especificação
LSI	Limite inferior de especificação
PPM	Partes por milhão (defeitos por milhão de oportunidades)
RBS	Revisão bibliográfica sistemática
T	Valor nominal da especificação
TQC	<i>Total Quality Control</i> (controle de qualidade total)
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	16
1.1.1	Objetivo Geral	16
1.1.2	Objetivos Específicos	16
1.2	JUSTIFICATIVA	17
2	EMBASAMENTO TEÓRICO	18
2.1	ÍNDICES DE CAPABILIDADE DE PROCESSO COM DISTRIBUIÇÃO NORMAL	24
2.1.1	Índice Cp (índice de capacidade potencial)	25
2.1.2	Índice Cpk (índice de capacidade relativo à localização)	26
2.1.3	Índice Cpm (índice de capacidade relativo à localização e à dispersão)	28
2.1.4	Índice Cpmk	29
2.2	ÍNDICES DE CAPABILIDADE DE PROCESSO COM DISTRIBUIÇÃO NÃO NORMAL	29
2.2.1	Método de Clements	30
2.2.2	Método de Pearn e Chen	31
2.2.3	Método de Chen e Ding	33
3	METODOLOGIA	34
3.1	FASE 1: ENTRADA	35
3.1.1	Etapa 1.1 – Problema	35
3.1.2	Etapa 1.2 – Objetivos	35
3.1.3	Etapa 1.3 – Fontes primárias	35
3.1.4	Etapa 1.4 – <i>Strings</i> de busca	35
3.1.5	Etapa 1.5 – Critérios de inclusão	36
3.1.6	Etapa 1.6 – Critérios de qualificação	36
3.1.7	Etapa 1.7 – Método e ferramentas	37
3.1.8	Etapa 1.8 – Cronograma	37
3.1	FASE 2: PROCESSAMENTO	37
3.2.1	Etapa 2.1 – Busca	38
3.2.2	Etapa 2.2 – Análise dos resultados	38
3.2.3	Etapa 2.3 – Documentação	38
3.3	FASE 3: SAÍDA	38
3.3.1	Etapa 3.1 – Alertas	39
3.3.2	Etapa 3.2 – Cadastro e arquivo	39

3.3.3 Etapa 3.3 – Síntese e resultados	39
4 ANÁLISE DE RESULTADOS	40
4.1 RESULTADOS DA RBS.....	40
4.2 ANÁLISE DAS PUBLICAÇÕES RELEVANTES.....	41
5 CONCLUSÃO.....	53

1 INTRODUÇÃO

O aumento da exigência do consumidor com a qualidade do produto vem crescendo a cada dia e, para suprir essas exigências, as empresas têm lutado para melhorar ainda mais seus meios de produção. Um dos meios encontrado, foi avaliar e analisar suas linhas de produção para evitar que mercadorias defeituosas sejam fabricadas, não só conseguindo garantir a satisfação do cliente, como também evitar perdas por desperdício.

O meio que se destaca para fazer essa análise é o estudo da capacidade do processo. O procedimento consiste em um estudo probabilístico onde serão analisadas amostras de um determinado processo e quantificado através dos índices de capacidade - capacidade pontencial (C_p) e capacidade relativa à localização (C_{pk}) são os mais comuns. Essa quantificação de capacidade permite a comparação de dois processos distintos (BAYEUX, 2001).

Desta forma, são conhecidos estudos de caso de empresas que fizeram a aplicação dos índices de capacidade em sua linha de produção e este trabalho visa verificar a difusão da utilização dessas técnicas em diferentes casos. Para isso, foram identificadas publicações relevantes para o estudo e selecionadas algumas características.

O trabalho será dividido em forma de tópicos, como se segue:

1. Introdução

Uma breve introdução do conceito de capacidade do processo e apresentação ao leitor da proposta do trabalho, bem como os objetivos e a justificativa do mesmo.

2. Embasamento teórico

Neste tópico será abordado o conceito de capacidade de processos e estudado os índices de capacidade mais reconhecidos pela literatura.

3. Metodologia

Serão abordadas e explicadas todas as etapas da metodologia escolhida para o trabalho: a revisão bibliográfica sistemática.

4. Resultados e discussão

Espaço reservado para exposição e análise dos resultados obtidos pela pesquisa realizada.

5. Conclusão

Conclusão do trabalho abordando os pontos mais relevantes da pesquisa.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Investigar e identificar a difusão da aplicação de técnicas relacionadas à capacidade do processo nas empresas.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para que o objetivo geral seja cumprido, os seguintes objetivos específicos serão buscados:

- Identificar artigos que possuem estudos de caso relacionados à capacidade de processo.
- Identificar quais os índices aplicados nos artigos.
- Identificar os motivos que levaram as empresas a utilizar os índices de capacidade de processo.
- Observar, ao longo do tempo, o emprego dos índices de capacidade de processo nas empresas.
- Identificar vantagens e desvantagens da análise de capacidade de processos.
- Identificar resultados alcançados pelos estudos de caso encontrados.

1.2 JUSTIFICATIVA

É possível encontrar diversos materiais que explicam o conceito de capacidade do processo, os índices de capacidade ou até diversos estudos de caso de empresas que aplicaram esse tipo de metodologia em sua cadeia produtiva. Porém, não é possível encontrar nenhum tipo de estudo realizado sobre a difusão da utilização desses métodos. Por esse motivo o trabalho será realizado, para entender sobre a difusão da aplicação de métodos relacionados à capacidade de processos.

Dentre todos os meios possíveis para analisar o desempenho de um processo, o estudo dos índices de capacidade se destaca, principalmente, por reduzir a variabilidade das características críticas dos produtos, visando sempre uma maior uniformidade e segurança; permitir a determinação da real viabilidade da mercadoria em atender as especificações propostas e permitir o estudo para implantação de técnicas para melhorar a qualidade do produto e aumento da produtividade. O estudo dos índices de capacidade de um processo age em combate as causas dos problemas e não em seus efeitos, podendo ter ação definitiva ao retirá-los de sua linha de produção (COSTA e SILVA).

No capítulo seguinte será abordado primeiramente um pouco da história da qualidade para se entender a necessidade da capacidade do processo. Posteriormente será apresentado o conceito de capacidade do processo e também os índices de capacidade mais reconhecidos pela literatura.

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

O conceito de qualidade foi se aprimorando ao longo do tempo. No século XVIII, aquele que definia o que era qualidade e fazia a inspeção do produto era o próprio artesão. Atualmente, o padrão é estabelecido pelos clientes e as empresas precisam se esforçar cada vez mais para atender todas as exigências. Para chegar ao método de qualidade conhecido nos dias de hoje, é preciso entender sua evolução (WATSON e ARCE, 2000).

A partir de 1900 até pouco antes de 1930, devido à crescente concorrência e a complexidade dos processos produtivos, houve a necessidade de estabelecer um controle de qualidade para os produtos. Ficou conhecida como a era da inspeção, onde o controle de qualidade era feito em todos os produtos acabados e tinha como objetivo evitar que produtos defeituosos chegassem ao consumidor. Não era necessário nenhum tipo de estudo estatístico ou controle do processo. Então, por volta de 1924, Walter Andrew Shewhart foi um dos pioneiros no estudo e desenvolvimento de teorias e métodos de controle de qualidade por seleção e amostragem no *Engineering Department of Western Electric's Bell Telephone Laboratories*. Ainda segundo os autores Watson e Arce (2000), a primeira carta de controle da qual se tem registro foi desenvolvida por Shewhart em 1924 e ficou conhecida como “Carta de Controle de Shewhart”.

Depois desse marco histórico, a utilização da estatística como ferramenta para o controle da qualidade ganhou espaço e reconhecimento. Então, na década de 1940, a estatística ganhou ainda mais força devido à Segunda Guerra Mundial. As condições impostas pelo momento de crise fizeram com que a produção fosse feita em massa e isso resultou em uma grande queda de qualidade. Para reverter a situação, o governo americano (país de Shewhart) e os países aliados investiram no estudo e desenvolvimento de novas técnicas estatísticas e aprimoraram a carta de controle podendo, assim, estabelecer padrões. Com um amplo programa de treinamento para implantação desses métodos, as indústrias conseguiram minimizar perdas, diminuir o custo de produção e restabelecer a qualidade dos produtos (MARTINELLI, 2009).

Devastado depois do fim da guerra, o Japão precisava de capital para a reconstrução de seu país e também para pagar a dívida com os países aliados. A solução encontrada foi investir em suas indústrias para que produzissem produtos com menor custo e qualidade igual ou superior às mercadorias dos outros países para ser viável uma exportação. Com uma população estudada e muito disciplinada, o Japão chegou a conclusão de que primeiro produzir e depois verificar os itens defeituosos gerava muito desperdício. Como solução, os japoneses decidiram estudar e monitorar melhor o processo de produção das mercadorias para, ao invés de descartar os itens defeituosos, impedir que eles fossem fabricados. Os pioneiros desse conceito foram principalmente Kaoru Ishikawa e Joseph M. Juran (LOPES, 2007).

Nos anos 1960, surge outro nome para um grande passo do controle de qualidade: Armand V. Feigenbaun. Precursor do *Total Quality Control* – TQC, sistema que procura empregar um padrão de excelência em um produto ou serviço. Na década seguinte, esse programa foi implantado no parque industrial japonês (LOPES, 2007).

A partir de 1980, a *International Organization for Standardization* – ISO montou um comitê que, posteriormente, levou a criação das Normas ISO 9000. Além disso, o TQC saiu do Japão e se espalhou pelo mundo, atingindo principalmente a Europa (LOPES, 2007).

Ainda nos anos 1980, a indústria americana sofria com a competitividade dos produtos japoneses, pois a confiabilidade e a maior durabilidade conquistaram muitos consumidores. Para resistir nesse mercado, as empresas americanas tiveram que buscar outros meios para se manterem competitivas. O maior exemplo é da Motorola, empresa que buscou por mais de uma década se manter competitiva no mercado e, em 1981, teve seu CEO desafiando seus executivos a melhorar seu desempenho dez vezes em apenas cinco anos. Ainda na empresa, em 1985, foi lançado um estudo que dizia que produtos sem defeitos durante o processo de fabricação dificilmente falharão nas mãos do cliente. Assim, em 1987, foi lançado o programa Seis Sigma em toda a empresa da Motorola. Esse programa ficou conhecido como ‘padrão zero defeito’, ou seja, a busca pela perfeição (RIBEIRO e CATEN, 2012).

O padrão zero defeito foi desenvolvido em diversas áreas, desde processos e produtos até prestação de serviços. Atentando-se a cada detalhe e mantendo o foco na necessidade do cliente, o programa Seis Sigma concedeu à Motorola o Prêmio Nacional de Qualidade Malcolm Baldrige, em 1988. No Brasil, sua popularização deu-se no fim dos anos 1990, como pode ser verificado na figura 1 (RIBEIRO e CATEN, 2012).



Figura 1 - Evolução da metodologia Seis Sigma
 Fonte: Ribeiro e Caten (2012).

A metodologia Seis Sigma, diante de todo um procedimento de agentes e etapas, é um parâmetro estatístico utilizado para medir o desempenho e a variabilidade de um ou mais processos. Sigma representa o desvio padrão relativo a uma população e, quanto maior o valor de Sigma, melhor é o desempenho do processo. Esse método permite comparar a qualidade de processos, produtos e serviços diferentes (WATSON e ARCE, 2000).

Se uma empresa tem um sigma, significa que ela produz mais produtos com defeitos que com qualidade. Da mesma forma, se ela possui seis sigma, a produção é muito próxima da perfeição, produzindo pouquíssimos itens defeituosos. A média das empresas atualmente varia entre três e quatro sigma (WATSON e ARCE, 2000).

Para melhor visualização do conceito de sigma, segue a Figura 2.

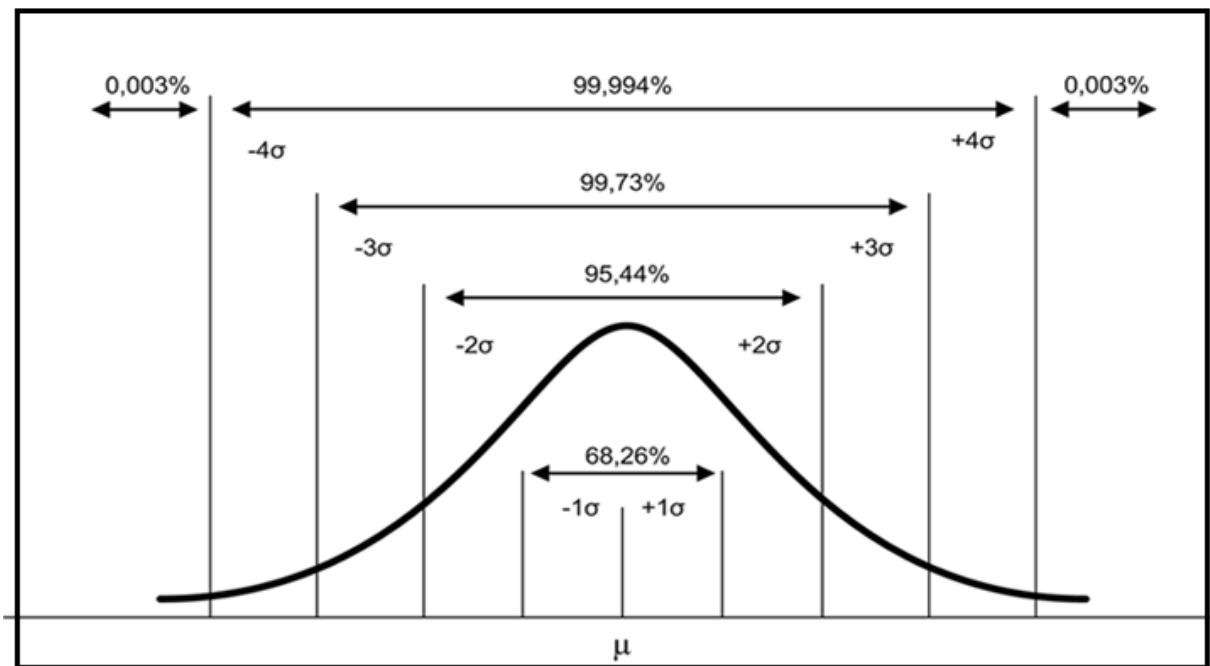


Figura 2: Gráfico demonstrativo de sigmas

Fonte: Disponível em <<http://www.portaaction.com.br/simulacao-monte-carlo/223-simulacao-do-modelo-normal>>.

A Figura 2 mostra que quanto menos sigmas uma empresa possui, maior é o número de produtos não conformes e o contrário também é verdadeiro: quanto mais próximo de seis sigmas uma empresa tiver, menor é o número de itens produzidos fora das especificações. Isso se dá pelo fato que a área abaixo da curva mostra o número de produtos não conformes. Um sigma está localizado no meio do gráfico, tendo uma grande área abaixo dele, enquanto seis sigma está na extremidade não possuindo área abaixo.

É introduzido também o conceito de PPM, ou seja, defeitos por milhão de oportunidades e o custo da má qualidade em porcentagem no faturamento. Sigma se traduz, normalmente, na análise da capacidade de um processo. Esses conceitos podem ser verificados na Tabela 1 (WATSON e ARCE, 2000).

Tabela 1 - Relação entre PPM, Cp, Cpk e Custo da Má Qualidade

Nível de Qualidade Seis Sigma	Defeitos por Milhão de Oportunidades (PPM)	Cp (desempenho ótimo dos processos)	Cpk (desempenho dos processos no dia a dia)	Custos da Má Qualidade (% Faturamento)
2,0 σ	308.300	Incapaz	Incapaz	30-40%
3,0 σ	66.807	1,0	0,5	20-10%
4,0 σ	6.210	1,33	0,83	15-20%
5,0 σ	233	1,67	1,17	10-15%
6,0 σ	3,4	2,0	1,5	<10%

Fonte: Adaptado de Watson e Arce, (2000).

Os índices de capacidade (Cp e Cpk) de um processo são objetos de estudo desse trabalho e serão abordados a seguir.

A metodologia Seis Sigma se difere das demais pelo conceito de PPM ao invés de porcentagem. Exemplificando: um fornecedor ser 99% confiável parece muito bom a primeira vista, mas se for analisado, a cada 100.000 itens que vai para o mercado 1.000 são defeituosos. Isso significa que a cada 10 consumidores, pelo menos um comprará um produto fora das normas. Com o conceito de PPM, as empresas podem escolher seus fornecedores de forma que o número de itens defeituosos seja o menor possível (BAYEUX, 2001).

Sendo assim, os índices de capacidade de processo são utilizados para quantificar o nível de desempenho de um processo com objetivo de atender as exigências e especificações de um produto. Esse método de estudo de processo vem ganhando espaço no mercado pela sua capacidade de transformar a complexidade de um processo em apenas um número, além de ser possível comparar processos distintos (BAYEUX, 2001).

É importante ressaltar que a análise da capacidade de processo é um procedimento estatístico e, para que seu resultado seja satisfatório, é preciso atentar-se às exigências do modelo estatístico como: tamanho e condições da

amostra, verificação se o processo atende à curva normal ou se os dados coletados são independentes. Além disso, mesmo que o resultado seja obtido através de uma coleta de dados correta, o processo não é 100% confiável porque se trata de um procedimento de probabilidade (BAYEUX, 2001).

Para dar início ao estudo sobre a capacidade do processo, primeiramente é preciso determinar se a coleta de dados é uma distribuição normal ou não normal, isto é, os dados possuem distribuição normal (ou gaussiana) se os valores centrais são mais frequentes e os extremos mais raros e possuem distribuição não normal se os valores são assimétricos. A Figura 3 representa um histograma de uma distribuição normal e um histograma de uma distribuição não normal respectivamente.

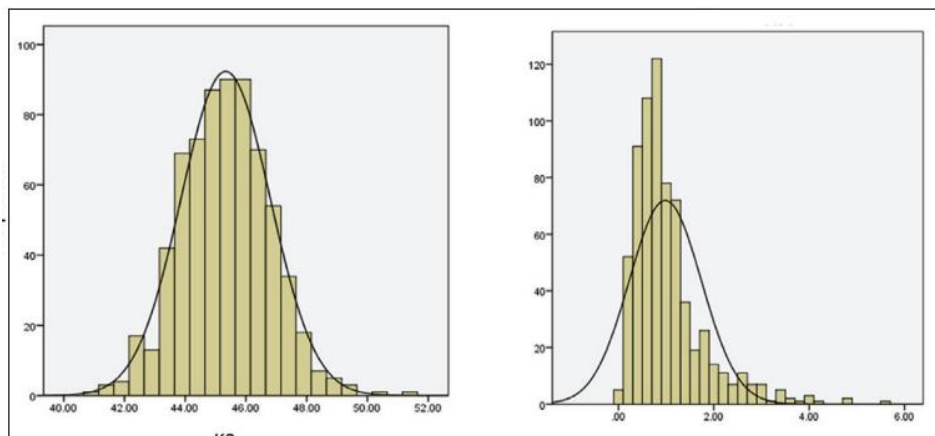


Figura 3 - Histograma de uma distribuição normal X Histograma de uma distribuição não normal

Fonte: Lopes, et al. (2014).

Para a realização da análise de capacidade, o processo precisa estar na condição de controle estatístico. Nessa condição, diz-se que o processo é estável e sua variação deve-se somente a causas comuns, inerentes ao processo. A capacidade do processo pode então ser mensurada (BAYEUX, 2001).

2.1 ÍNDICES DE CAPABILIDADE DE PROCESSO COM DISTRIBUIÇÃO NORMAL

Uma distribuição normal necessita de dois parâmetros para ser especificada: a média populacional (μ) e o desvio padrão populacional (σ). Ela deve ser, necessariamente, simétrica e seu gráfico em forma de sino pode ser verificado na Figura 4.

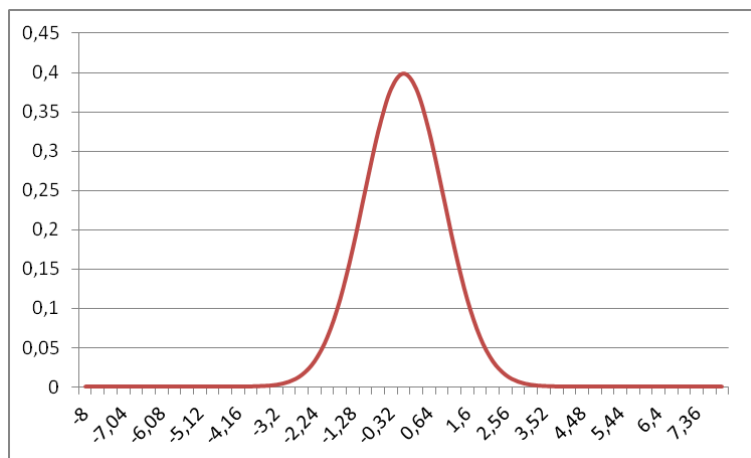


Figura 4 - Gráfico de uma distribuição normal
Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 4 mostra um gráfico de uma distribuição normal qualquer, obtida através do *software* Excel com finalidade apenas demonstrativa, facilitando o entendimento da curva gaussiana.

Com base nos requisitos dos clientes, é possível determinar a dimensão nominal (dimensão indicada no desenho do produto, determinada no projeto de acordo com os objetivos que deverá atingir) e seus limites de tolerância da qualidade

do produto. Para a análise dos índices de capacidade, ainda é necessário a definição de parâmetros estatísticos do processo sendo os mais comuns as medidas de tendência central (média - μ) ou de dispersão (desvio padrão - σ). Conforme Gonçalves e Werner (2009), os índices de capacidade de processos mais comuns aplicados na prática são: Cp, Cpk, Cpm e Cpmk (BAYEUX, 2001).

2.1.1 Índice Cp (índice de capacidade potencial)

Esse índice não considera a localização do processo no campo de tolerância do produto nem a nominal desse campo, é embasado somente na relação entre a variabilidade natural do processo e a amplitude do intervalo de especificação. O índice proporciona apenas uma ideia de quanto o processo é capaz de produzir dentro dos limites de especificação porque, para um determinado valor de Cp, é possível ter qualquer percentual de produtos fora das especificações – o percentual depende apenas de onde está localizada a média do processo. Cp é determinado pela Equação 1 (GONÇALES e WERNER, 2009).

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (1)$$

Sendo:

LSE = limite superior de especificação

LIE = limite inferior de especificação

σ = desvio padrão do processo

O desvio padrão, na prática, determina qual é a variação que existe em relação à média. Um desvio padrão baixo significa que os dados tendem a estar próximos da média, enquanto um desvio padrão alto indica dados espalhados. (BAYEUX, 2001)

Assim, o Cp não indica especificadamente como está o desempenho do processo. Para isso, pode-se complementar o estudo pelo cálculo do próximo índice.

2.1.2 Índice Cpk (índice de capacidade relativo à localização)

Para processos que não estejam centrados no valor nominal de especificação, o índice Cp pode trazer conclusões errôneas e, por isso, deve-se utilizar o índice de desempenho Cpk. Esse índice leva em consideração a localização do processo (μ), ou seja, a distância da média do processo em relação aos limites de especificação. Deve ser determinado pela Equação 2 (GONÇALES e WERNER, 2009).

$$Cpk = \min\left(\frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LIE}{3\sigma}\right) \quad (2)$$

Sendo:

LSE = limite superior de especificação

LIE = limite inferior de especificação

σ = desvio padrão do processo

μ = média do processo

Quando $Cp = Cpk$ significa que a média do processo está centrada entre os dois limites de especificação. Caso contrário, a média do processo se aproximará ao limite de especificação correspondente ao menor valor resultante do cálculo dos dois coeficientes Cpk (BAYEUX, 2001).

Para ilustrar por que o índice C_p sozinho pode causar conclusões erradas, segue a figura 5.

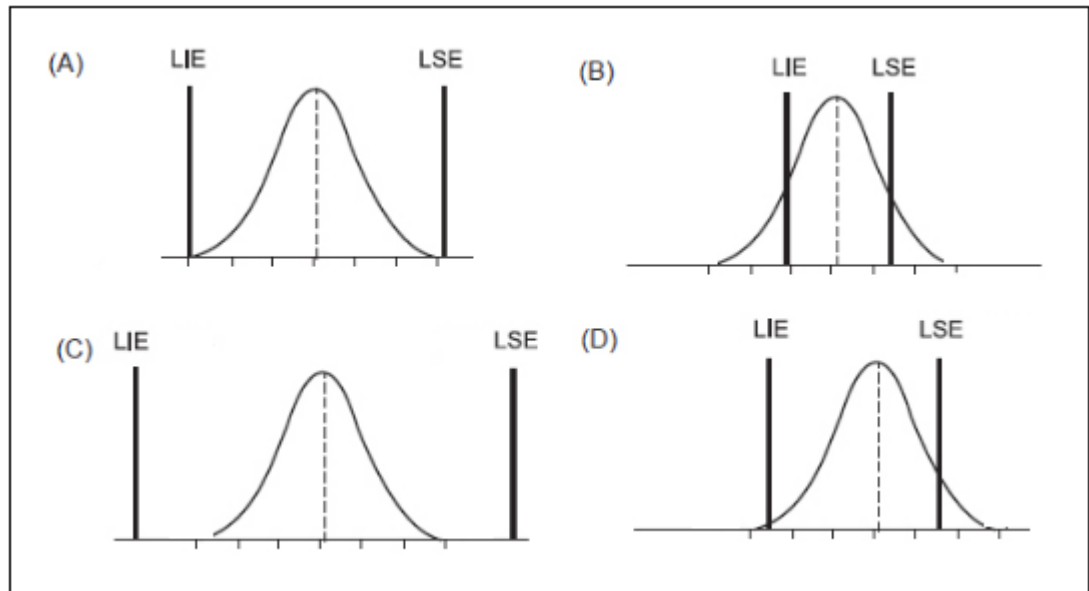


Figura 5 - Comparação da variação natural do processo com a faixa de especificação que é requerida.

Fonte: Adaptado de Slack, *et. al.* (2006)

A Figura 5 (A) mostra o caso de $C_p=1$, ou seja, a variação natural do processo é exatamente igual ao limite de especificação. A Figura 5 (B) demonstra um processo incapaz, onde $C_p < 1$. A variação natural do processo está além dos limites de especificação. A Figura 5 (C) mostra o caso de $C_p > 1$ que é considerado um processo capaz. A variação natural do processo está dentro dos limites de especificação. Já a Figura 5 (D) mostra a importância do índice C_{pk} , mostrando a variação lateral do processo. Neste caso a curva aparece deslocada para a direita, diferentemente das demais que aparecem centralizadas. Por ultrapassar um dos limites estabelecidos, caracteriza um processo incapaz. Em todas as figuras, LSE é o limite superior de especificação e LIE é o limite inferior de especificação.

Juntos, Cp e Cpk indicam se um processo é capaz ou incapaz. Segundo Gonçalves e Werner (2009), o índice Cp deve ser interpretado de três maneiras, como abordado a seguir:

- a) Se $C_p > 1,33$ o processo é considerado potencialmente capaz. Os itens não conformes, ou seja, produtos fora da especificação desejada, estão abaixo de 64 itens a cada PPM (parte por milhão);
- b) Se $1 \leq C_p \leq 1,33$ o processo é considerado aceitável ou relativamente capaz. Isso mostra que os itens não conformes variam entre 64 a 2700 PPM;
- c) Se $C_p < 1$ o processo é considerado incapaz. Os itens não conformes aparecem acima de 2700 PPM.

Para evitar conclusões errôneas, o índice Cpk deve ser utilizado juntamente com Cp, uma vez que ele mostra a capacidade atual do processo.

2.1.3 Índice Cpm (índice de capacidade relativo à localização e à dispersão)

Esse índice considera tanto a variação do processo quanto a distância de sua média em relação ao valor nominal da especificação. Caso o índice Cpm seja baixo, indica que o denominador da equação é maior, ou seja, ou há um aumento na variabilidade do processo ou um distanciamento maior do processo em relação ao valor nominal. Cpm pode ser calculado pela Equação 3 (GONÇALES e WERNER, 2009).

$$C_{pm} = \frac{LSE - LIE}{\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \quad (3)$$

Sendo:

LSE = limite superior de especificação

LIE = limite inferior de especificação

σ = desvio padrão do processo

T = valor nominal da especificação

μ = média do processo

Em relação ao índice Cp, Cpm fornece uma ideia melhor sobre a capacidade do processo para ambos os casos: processos que se apresentam próximos ao valor nominal quanto para valores mais afastados do valor nominal (GONÇALES e WERNER, 2009).

2.1.4 Índice Cpmk

Para refinar ainda mais a análise dos índices de capacidade, a literatura sugere o índice Cpmk pois ele considera a menor distância entre a média do processo em relação aos limites de especificação. O cálculo de Cpmk é dado pela Equação 4 (GONÇALEZ e WERNER, 2009).

$$Cpmk = \min \left(\frac{LSE - \mu}{\sqrt[3]{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - LIE}{\sqrt[3]{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right) \quad (4)$$

Sendo:

LSE = limite superior de especificação

LIE = limite inferior de especificação

σ = desvio padrão do processo

T = valor nominal da especificação

μ = média do processo

2.2 ÍNDICES DE CAPABILIDADE DE PROCESSO COM DISTRIBUIÇÃO NÃO NORMAL

Para evitar que empresas suponham que seus processos sejam de distribuição normal, quando na verdade, não são e assim obtenham resultados insatisfatórios, foi necessário determinar índices de capacidade de processo para uma distribuição não normal. O gráfico de uma distribuição assimétrica pode ser verificado na Figura 6.

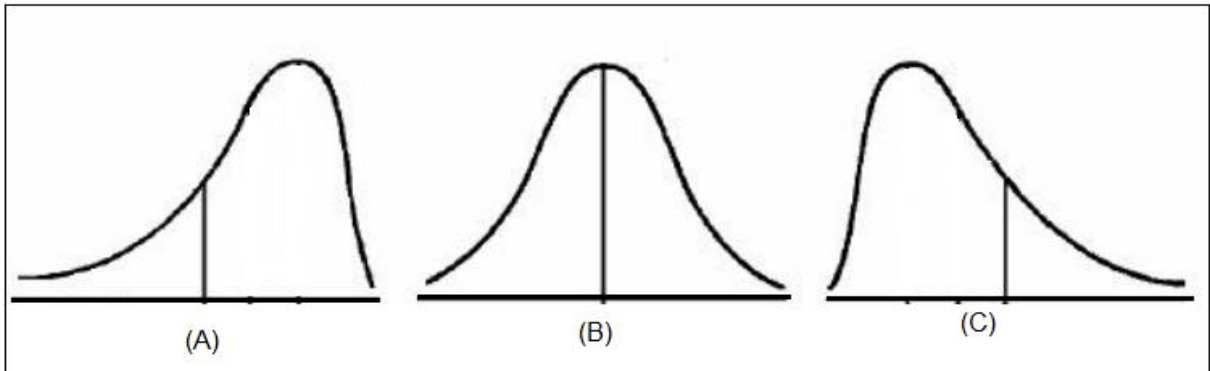


Figura 6 - Gráfico de uma distribuição não normal
Fonte: Adaptado de Souza (2012).

A Figura 6 mostra duas formas de distribuição assimétrica - Figuras 6(A) e 6(C), em contraste com uma distribuição de dados simétrica, representada na Figura 6(B).

Segundo Gonzalez e Warner (2009), as transformações Box-Cox ou de Johnson que pegam dados não normais e convertem para uma distribuição normal tem sido amplamente utilizadas devido à facilidade e praticidade de aplicação. Porém, existem três métodos alternativos para a análise dos índices de capacidade de um processo com distribuição não normal: CLEMENTS (1989), PEARN E CHEN (1997) E CHEN E DING (2001).

2.2.1 Método de Clements

Segundo o próprio autor do método, ele pode ser aplicado em qualquer família de curvas de probabilidade, além de poder estimar a porcentagem de itens fora da conformidade para uma grande variedade de distribuições. O índice Cp' de Clements é determinado pela Equação 5 (GONÇALEZ e WERNER, 2009).

$$Cp' = \frac{LSE - LIE}{F\alpha_2 - F\alpha_1} \quad (5)$$

Sendo:

LSE = limite superior de especificação

LIE = limite inferior de especificação

F α = percentil na posição α -ésima do processo.

Para levar em consideração a posição do processo em relação aos limites de especificação, deve-se calcular o índice Cpk', que é definido como o mínimo de dois índices:

$$Cpk' = \min\left(\frac{LSE - M}{F\alpha_2 - M}, \frac{M - LIE}{M - F\alpha_1}\right) \quad (6)$$

Sendo:

LSE = limite superior de especificação

LIE = limite inferior de especificação

M = mediana do processo

F α = percentil α -ésimo do processo.

Caso o método de Clements seja utilizado supondo uma distribuição normal de dados, ambas as equações de Cp' e Cpk' serão convertidas nas Equações 1 e 2, respectivamente (GONÇALEZ e WERNER, 2009).

2.2.2 Método de Pearn e Chen

Pearn e Chen propuseram um método de generalização para casos em que a suposição de normalidade não pudesse ser verificada. O Cnp (u,v) pode ser calculado pela Equação 7 (GONÇALEZ e WERNER, 2009).

$$Cnp(u, v) = \frac{d - u|M - m|}{\sqrt[3]{\left[\frac{F\alpha_2 - F\alpha_1}{6}\right]^2 + v(M - T)^2}} \quad (7)$$

Sendo:

$F\alpha$ = α -ésimo percentil

M = mediana da distribuição

T é o valor nominal e $u, v > 0$

d é a metade do comprimento do intervalo de especificação e é dado pela Equação 8.

$$d = \frac{LSE - LIE}{2} \quad (8)$$

m é o ponto médio entre os limites de especificação e é calculado pela Equação 9.

$$m = \frac{LSE + LIE}{2} \quad (9)$$

Para uma distribuição não normal, o desvio padrão (σ) deve ser substituído pela Equação 10.

$$\frac{F\alpha_2 - F\alpha_1}{6} \quad (10)$$

Sendo:

LSE = limite superior de especificação

LIE = limite inferior de especificação

Assim, para Cnp e $Cnpk$ do método Pearn e Chen têm-se:

$$Cnp = \frac{LSE - LIE}{F\alpha_2 - F\alpha_1} \quad (11)$$

$$Cnpk = \min \left(\frac{LSE - M}{\frac{F\alpha_2 - F\alpha_1}{2}}, \frac{M - LIE}{\frac{F\alpha_2 - F\alpha_1}{2}} \right) \quad (12)$$

Sendo:

LSE = limite superior de especificação

LIE = limite inferior de especificação

M = mediana do processo

$F\alpha$ = percentil α -ésimo do processo.

2.2.3 Método de Chen e Ding

Os autores propuseram um índice que atende qualquer distribuição de dados e que considera, em seu cálculo: a variabilidade do processo, a distância da média do processo em relação ao valor nominal e a proporção de não conformes. Esse índice foi denominado $Spmk$ e é dado pela Equação 13 (GONÇALEZ e WERNER, 2009).

$$Spmk = \frac{\phi^{-1}\left(\frac{1 + F(LSE) - F(LIE)}{2}\right)}{\sqrt[3]{1 + \left(\frac{\mu - T}{\sigma}\right)^2}} \quad (13)$$

Sendo:

$F(x)$ = função de distribuição acumulada do processo

μ = média do processo

σ = desvio padrão do processo

T = valor nominal de especificação

LIE = limite inferior de especificação

LSE = limite superior de especificação

A seguir, é apresentada ao leitor a Revisão Bibliográfica Sistemática e abordada cada etapa para execução da mesma.

3 METODOLOGIA

O procedimento metodológico deste trabalho se baseia na revisão bibliográfica sistemática (RBS).

Esse método é um procedimento científico para busca e análise, seguindo um protocolo característico de investigação, utilizando materiais previamente publicados sobre um determinado tema. A revisão bibliográfica deve ser o ponto de partida para qualquer pesquisa científica pois define-se tópicos chave, palavras chave, periódicos, autores e demais fontes de dados necessários. Permite também maior familiarização com o tema, aprimoramento de ideias e descoberta de outros autores que publicaram sobre o tema.

Com uma revisão bibliográfica conduzida com rigor, os dados tem maior confiabilidade e permite que outros pesquisadores possam fazer uso dos dados de estudos já finalizados. Para maior qualidade nas buscas, um procedimento deverá ser adotado. No caso desse trabalho, foi utilizado o roteiro de RBS - *roadmap* desenvolvido por Conforto, Amaral e Silva (2011), como pode ser verificado na Tabela 2.

Tabela 2: Roteiro para desenvolvimento da RBS

Etapa 1: Entrada	Etapa 2: Processamento	Etapa 3: Saída
1.1 Problema	2.1 Busca	3.1 Alertas
1.2 Objetivos	2.2 Análise	3.2 Cadastro e Arquivo
1.3 Fontes Primárias	2.3 Documentação	3.3 Síntese
1.4 <i>Strings</i> de busca		
1.5 Critérios de Inclusão		
1.6 Critérios de Qualificação		
1.7 Método e Ferramenta		
1.8 Cronograma		

Fonte: Adaptado de Conforto, Amaral e Silva (2011).

3.1 FASE 1: ENTRADA

3.1.1 Etapa 1.1 – Problema

Nesta etapa, deve-se definir o problema central da pesquisa, evidenciando o que deve estar incluso na revisão. Neste caso, o problema foi: estudos de caso que mostram os motivos que levaram as empresas a utilizar os índices de capacidade.

3.1.2 Etapa 1.2 – Objetivos

Os objetivos da revisão bibliográfica devem estar de acordo com os objetivos propostos neste trabalho e, a partir deles, será possível definir certos critérios para inclusão de periódicos no estudo. Para esse trabalho, o objetivo foi: encontrar materiais que contenham a definição de capacidade de processos e/ou estudos de caso com os índices de capacidade

3.1.3 Etapa 1.3 – Fontes primárias

Nesta etapa, deve-se eleger uma base de dados que contenha artigos e periódicos úteis para a identificação dos autores relevantes para o projeto. Para implementar as estratégias de busca foi escolhida a base de dados da Capes periódicos, devido sua ampla atuação no meio nacional.

3.1.4 Etapa 1.4 – *Strings* de busca

Segundo o autor do método, é necessário testar a combinação de termos e estabelecer o uso de algumas palavras-chave para a formulação de *strings*. Como palavras-chave foram definidas: capacidade de processos, estudo de caso, distribuição normal, distribuição não normal.

Os *strings* de busca mais populares estão descritos na tabela 3.

Tabela 3 - STRINGS de busca

<i>Strings</i> de busca
Capabilidade de processos
Estudo de caso de capacidade de processos
Vantagens da capacidade de processos
Procura da capacidade de processos com o tempo
Controle estatístico do processo
Estudo de caso controle estatístico do processo
Capabilidade do processo distribuição normal
Estudo de caso controle estatístico do processo

Fonte: Autor (2016)

3.1.5 Etapa 1.5 – Critérios de inclusão

Foi necessário adotar certos critérios para inclusão dos resultados das buscas como relevantes para a pesquisa. Neste caso, foi utilizado como critério se no resultado da busca havia definição e estudo de caso sobre capacidade do processo.

3.1.6 Etapa 1.6 – Critérios de qualificação

Para qualificar se um resultado da busca era relevante para a pesquisa, adotou-se como critério se havia a disponibilidade *online* do material completo e se o trabalho era ou na língua inglesa ou portuguesa.

3.1.7 Etapa 1.7 – Método e ferramentas

Para armazenar os filtros utilizados nas buscas, bem como seus resultados e quantidade de materiais disponíveis, foi utilizado a ferramenta Excel, devido à familiaridade com o software e a facilidade de uso.

3.1.8 Etapa 1.8 – Cronograma

Segundo o autor do método, deve-se definir um cronograma para a realização da RBS. O cronograma pode ser verificado detalhadamente no Quadro 1.

MÊS	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV
ETAPA									
Definição tema									
Pesquisa metodologia									
Pesquisa capacidade de processo									
Definição cronograma									
Elaboração do trabalho 1									
Apresentação TCC1									
Atualização de pesquisa capacidade de processo									
Elaboração do trabalho 2									
Apresentação TCC2									

Quadro 1 – Cronograma de execução

Fonte: Autor

3.1 FASE 2: PROCESSAMENTO

3.2.1 Etapa 2.1 – Busca

Nesta etapa, foi utilizada a busca online no portal Capes, Portal Scielo e nas bibliotecas digitais das principais universidades do Brasil, que possuem cursos de pós-graduação em Engenharia de Produção.

3.2.2 Etapa 2.2 – Análise dos resultados

Para essa etapa, foram utilizados os critérios previamente estabelecidos, além de outro tipo de filtro, onde no filtro 1 fazia-se a leitura apenas do título e resumo do trabalho. Caso fosse relevante, partia-se para o filtro 2, onde era feita a leitura da introdução e conclusão do material. Só assim, se ainda fosse relevante era necessário fazer a leitura do material completo.

3.2.3 Etapa 2.3 – Documentação

As informações foram armazenadas no Excel, de acordo com os strings de busca (número de resultados total e número de resultados relevantes para o trabalho por string) e posteriormente, preenchidos os requisitos: autor, ano e título do trabalho.

3.3 FASE 3: SAÍDA

3.3.1 Etapa 3.1 – Alertas

Nesta etapa, devem-se identificar os materiais mais relevantes e inserir alertas eletrônicos para rastrear novas publicações sobre o tema e assim, deixar a pesquisa sempre atual.

3.3.2 Etapa 3.2 – Cadastro e arquivo

Os trabalhos relevantes para a pesquisa foram incluídos nas referências e armazenados para futuras pesquisas.

3.3.3 Etapa 3.3 – Síntese e resultados

Nesta etapa, foi elaborada uma síntese para cada bibliografia estudada, sendo descritos 14 modelos no total.

No capítulo que se segue, serão abordadas os resultados da pesquisa sobre empresas que utilizaram os índices de capacidade, colocando em prática o método de RBS.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DA RBS

É interessante ressaltar que o principal desafio do trabalho foi a dificuldade de encontrar publicações relevantes em língua portuguesa e que possuam estudos de caso práticos com o tema de capacidade de processo.

Sendo assim, os dados encontrados pela revisão bibliográfica sistemática foram levantados em âmbito nacional. Foram investigados artigos, teses e dissertações no Portal Capes, Portal *Scielo* e nas bibliotecas digitais das principais universidades do Brasil, que possuem cursos de pós-graduação em Engenharia de Produção.

De modo geral, foram selecionadas 34 publicações que poderiam ser relevantes para o projeto. A Figura 7 mostra um gráfico com a evolução de acordo com a data de publicação dos trabalhos encontrados.

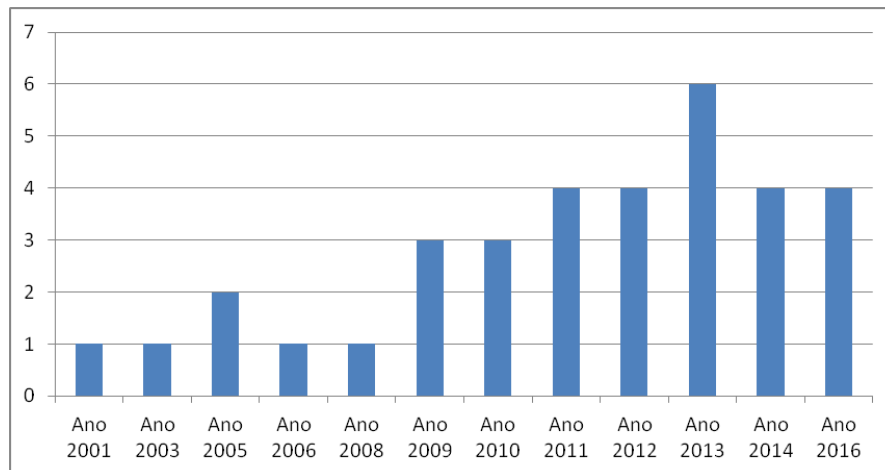


Figura 7 – Gráfico do ano de publicação

Fonte: Elaborado pela autora.

Como pode ser observado na Figura 7, as publicações se mantiveram em um nível baixo desde 2001 mostrando um aumento apenas a partir do ano de 2009, com um notável ápice no ano de 2013.

Entre todas as publicações, foi possível encontrar os mais diversos tipos de casos e diferentes propostas. Alguns títulos, como o da Giovana Gavioli, introduzem o conceito de capacidade operacional, ou seja, o crescimento da organização seria limitado pelas oportunidades produtivas derivadas da conjunção das capacidades controladas pela empresa e a estrutura administrativa utilizada para coordená-las. (GAVIOLI, 2012).

Em outros casos, há um estudo de caso para aplicação do *roadmap* Seis Sigma para otimizar o sistema de medição, utilizando a aplicação da metodologia estruturada DMAIC – Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar. (PERUCHI, *et al*, 2014)

Ambos os casos citados acima não se mostram relevantes para essa pesquisa, uma vez que o objetivo traçado foi de identificar publicações com estudos de casos que utilizam índices de capacidade para fazer a análise de capacidade de um determinado processo. Sendo assim, do total de 34 publicações possivelmente relevantes, observou-se que apenas 14 possuíam as características necessárias para o estudo. Uma análise mais detalhada foi feita no tópico 4.2 Análise das publicações relevantes.

4.2 ANÁLISE DAS PUBLICAÇÕES RELEVANTES

As publicações relevantes foram identificadas como ‘Título’ seguidas por numerais de 1 a 14, facilitando a visualização. Desta forma, segue a relação de títulos, bem como um breve resumo sobre cada publicação.

Título 1: Aplicação do controle estatístico de processos em indústria de bebidas: um estudo de caso (SOARES, G. 2001)

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina em 2001, essa publicação mostra a implantação do controle estatístico de processos (CEP) em uma indústria de bebidas. O objetivo é avaliar o processo de envase da água mineral para identificação de oportunidades para melhorar a qualidade do processo e, para isso, foram observadas características como volume, torque e lacre da garrafa. Utilizaram-se os índices de capacidade nas variáveis estudadas e por fim, foram sugeridas algumas mudanças no processo para a diminuição da variabilidade.

Título 2: Aplicação de técnicas estatísticas na otimização e controle da qualidade de produtos para a indústria de compostos plásticos (DALANESI, L. 2014)

A publicação de Luiz Antônio Dalanesi foi apresentada à Universidade Nove de Julho em 2014 e tem como objetivo a aplicação do controle estatístico do processo em empresa do ramo industrial de plástico. O estudo utiliza experimentos para buscar a melhor composição para otimização das propriedades mecânicas de um composto e, como auxílio, faz uso de ferramentas como diagrama de Pareto, cartas de controle e índices de capacidade. O processo se mostra incapaz e é necessário fazer uma investigação das causas comuns para assim, otimizar o processo.

Título 3: Perdas na colheita mecanizada de cana de açúcar crua em função do desgaste das facas do corte de base (REIS, G. 2009)

A publicação de Gustavo Reis faz referência ao processo mecanizado de colheita de cana de açúcar, avaliando sua qualidade, fazendo uma verificação se o processo é capaz de gerar resultados dentro dos limites especificados e quantificar os danos às soqueiras pelo mecanismo de corte basal. Para isso, foram identificadas certas características como rebolo repicado, cana inteira, cana ponta, entre outras para a realização da análise dos índices de capacidade. Por fim, os índices mostraram processos incapazes de produzir dentro do limite esperado.

Título 4: Método prático para otimização do ciclo de retificação transversal de precisão (ROSSI, M. 2009)

Diferentemente das outras publicações, o título de Moacir Rossi visa identificar uma proporcionalidade entre duas características: C_p e velocidade de avanço. Para isso, foi utilizado um processo de usinagem e a característica verificada foi o diâmetro da peça. Apesar de a proporcionalidade não ser o foco principal de sua pesquisa, foi possível observar a versatilidade dos índices de capacidade de processos.

Título 5: Variabilidade espacial e diagnóstico da qualidade do processo em semeadura de amendoim (TOLEDO, A. 2008)

Para essa publicação, foram verificadas características do processo de semeadura de amendoim e de desempenho operacional como força e potência na barra de tração, velocidade, consumo de combustível, entre outras. Foi realizado um experimento na Universidade Federal Paulista, Campus Jaboticabal e verificou-se que o processo é incapaz de atender as exigências.

Título 6: Análise da capacidade de um processo: um estudo de caso baseado nos indicadores c_p e c_{pk} (OLIVEIRA, J. et al. 2011)

Essa publicação é relacionada com o processo de empacotamento de sordas, uma espécie de biscoito doce originário do nordeste brasileiro. Foi feita uma coleta amostral durante quatro dias e, posteriormente, os dados foram analisados através dos índices de capacidade de processos. O objetivo do trabalho é verificar a capacidade de produzir pacotes de sordas com um peso definido. Como o processo mostrou-se incapaz, foram sugeridas propostas para tornar o processo mais capaz.

Título 7: Análise de capacidade para avaliar a influência da geometria de brocas helicoidais em furação profunda de uma liga de alumínio – um estudo de caso (PEREIRA, A. 2010)

Como a furação é um dos processos mais importantes na manufatura, esse trabalho tem como objetivo estudar a influência da geometria de brocas helicoidais em furação profunda de uma liga de alumínio. Através dos dados obtidos experimentalmente, foi verificada a influência do ângulo de ponta e incidência com a capacidade da distância de centro do processo.

Título 8: Aplicação dos gráficos de controle e capacidade de processo para monitoramento em um dos processos da fabricação de mesas de bilhar (SIQUEIRA NETO, J, *et al.* 2016)

Como objetivo deste trabalho, destaca-se a aplicação de gráficos de controle e capacidade de processos para monitoramento de um processo de fabricação de mesas de bilhar. O processo escolhido foi o de corte da pedra ardósia. Com os dados coletados em campo, foi possível fazer a análise de capacidade do processo, sendo verificado um processo capaz de produzir dentro dos limites de especificação.

Título 9: Aplicação do controle estatístico de processos no beneficiamento de café: um estudo de caso no sudeste goiano (SILVA, M. Et al. 2013)

O objetivo deste trabalho é utilizar o controle estatístico do processo para verificar se o processo de empacotamento de café é capaz de produzir dentro de suas especificações. Para isso, foram utilizados os índices de capacidade de processos e, em dias aleatórios, foram colhidos os dados necessários na empresa. Três gráficos foram gerados para auxiliar a análise de resultados: gráfico da média, gráfico do desvio padrão e gráfico da amplitude. O estudo mostrou que o processo é capaz de atender as especificações desejadas.

Título 10: Aplicação do controle estatístico de processos (CEP) no serviço de tele atendimento do setor de telefonia móvel pessoal (SMP) no Brasil (SANTOS, A, *et al.* 2013)

Diferentemente das publicações mais comuns, o objetivo desse trabalho foi fazer uma análise de capacidade em um serviço prestado à sociedade: setor de atendimento de telefonia móvel. A característica escolhida foi o tempo de espera dos clientes de três operadoras de serviço móvel no Brasil. Através do estudo dos índices de capacidade, observou-se que apenas uma empresa foi capaz de atender às especificações previstas pela legislação.

Título 11: Aplicação de ferramentas de controle estatístico da qualidade ao monitoramento da produção de etanol (SAGAWA, J. YAMADA, R. 2013)

O objetivo do trabalho é aplicar ferramentas do controle estatístico do processo à produção de etanol a partir da cana de açúcar. As variáveis foram escolhidas a partir de uma análise crítica e estruturada, e assim, através da utilização dos índices de capacidade, o estudo permitiu apontar as características com maior instabilidade no processo.

Título 12: Implantação do controle estatístico de processos em uma indústria de beneficiamento de castanhas de caju (SILVA, S. et al. 2012)

Para evitar perdas por desperdício ou retrabalho, optou-se pela proposta de implementação do controle estatístico do processo em uma indústria de beneficiamento de castanhas de caju. Para isso, foram utilizados os índices de capacidade e resultou para a empresa ganhos de qualidade e produtividade.

Título 13: Absorção de água em carcaças de frango: um estudo sobre os fatores determinantes e a capacidade do processo (RECHE, R. RUI, C. CAMARGO, M. 2011)

Uma indústria de frangos utiliza o método de pré-resfriamento por imersão em água, ou seja, um processo que resulta em absorção de água por parte das carcaças das aves. A utilização dos índices de capacidade é necessária para a verificação da quantidade de água absorvida pelas aves, uma vez que há uma legislação com o máximo permitido. O processo em questão mostrou-se incapaz de cumprir sua meta.

Título 14: Aplicação das etapas definir e medir do roadmap dmaic para um exemplo didático de projeto seis sigma (PERUCHI, R. *et al.* 2012)

O objetivo deste trabalho é apresentar um exemplo de utilização do projeto seis sigma utilizando o DMAIC – ferramenta conhecida como Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar. Apesar de não ser o foco de estudo, há a utilização de índices de capacidade para verificar se o processo é capaz de produzir dentro das limitações necessárias. Após o estudo, verificou-se que o processo é incapaz.

Algumas características foram observadas em todas as 14 publicações que possuem estudos de caso utilizando os índices de capacidade. O Quadro 2 mostra de forma dinâmica algumas semelhanças entre as empresas estudadas.

PUBLICAÇÃO	CRITÉRIO: Semelhanças e diferenças		
	Processo de fabricação	Produção	Prestação de serviços
Título 1		X	
Título 2	X		
Título 3		X	
Título 4			X
Título 5		X	
Título 6		X	
Título 7	X		
Título 8	X		
Título 9		X	
Título 10			X
Título 11		X	
Título 12		X	
Título 13		X	
Título 14			X

Quadro 2 – Critério de semelhanças das publicações analisadas

Fonte: Elaborado pela autora.

Por ‘Processo de fabricação’ entende-se que o processo verificado foi, de fato, na fabricação de um item. Pode-se citar a fabricação de uma mesa ou processo de furação em liga de alumínio. No caso de ‘Produção’, o que se observa é que o produto já está acabado e passa, por exemplo, por algum tipo de empacotamento – então verifica-se características como gramatura desejada. O caso de ‘Prestação de serviços’ refere-se a tempo de espera ou identificação de proporcionalidade. Verifica-se, portanto, que 21,4% das empresas estudadas estão na categoria de ‘Processos de fabricação e a mesma porcentagem é classificada como ‘Prestação de serviços’. A maioria (57,2%) é referente a ‘Produção’.

Entre as características abordadas, foi verificado o tipo de empresa em que era feito o estudo de caso, bem como os motivos que levaram a necessidade dessa análise. Esses dados foram coletados e armazenados na forma do Quadro 3 e Quadro 4.

PUBLICAÇÃO	CRITÉRIO: TIPO DE EMPRESA						
	Agrícola	Indústria de bebidas	Indústria de plástico	Usinagem	Prestação de serviços	Alimentícia	Fabricação de mesa
Título 1		X					
Título 2			X				
Título 3	X						
Título 4				X			
Título 5	X						
Título 6						X	
Título 7				X			
Título 8							X
Título 9						X	
Título 10					X		
Título 11	X						
Título 12	X						
Título 13						X	
Título 14					X		

Quadro 3 – Tipificação das empresas das publicações analisadas

Fonte: Elaborado pela autora.

O Quadro 3 mostra de forma mais específica os tipos de empresas que as publicações relevantes mostraram. Entre as categorias, encontra-se a ‘Indústria agrícola’, com o plantio de cana de açúcar e castanha de caju; a ‘Indústria alimentícia’ do produto já acabado, como café e sorja; indústrias que focaram na fabricação de materiais estão na categoria de ‘Usinagem’ e há ainda a categoria de ‘Prestação de serviços’, na qual consta utilidade pública como tempo de espera de atendimento em uma companhia de telecomunicação.

Sendo assim, cada empresa, independentemente da sua categoria, teve uma necessidade para realizar a análise de capacidade de seu processo. Os motivos abordados são descritos no Quadro 4.

PUBLICAÇÃO	CRITÉRIO: MOTIVO PARA ESTUDO ATRAVÉS DE ÍNDICES DE CAPABILIDADE				
	Identificar oportunidade de melhoria na qualidade do produto	Identificar uma variabilidade no processo	Quantificar perdas e danos	Identificar proporcionalidade e entre Cp e Va	Verificação de cumprimento de uma característica
Título 1	X				
Título 2		X			
Título 3			X		
Título 4				X	
Título 5	X	X			
Título 6					X
Título 7		X			
Título 8		X			
Título 9					X
Título 10		X			X
Título 11	X	X			
Título 12	X	X			
Título 13					X
Título 14		X			

Quadro 4 – Motivação de adoção de índices de capacidade das empresas analisadas

Fonte: Elaborado pela autora.

O Quadro 4 mostra certa repetibilidade entre os motivos das empresas. Observa-se que ainda que apenas 57% dos estudos de caso mostrem com clareza a necessidade de identificar uma variabilidade no processo, essa etapa é indispensável para a realização das demais – como identificar oportunidade de melhoria na qualidade do produto e quantificar perdas e danos.

Para realizar uma análise do comportamento das publicações ao longo do tempo, mostrou-se importante a característica “Ano de publicação”. A Figura 8 mostra a evolução no tempo em que os projetos relevantes foram publicados.

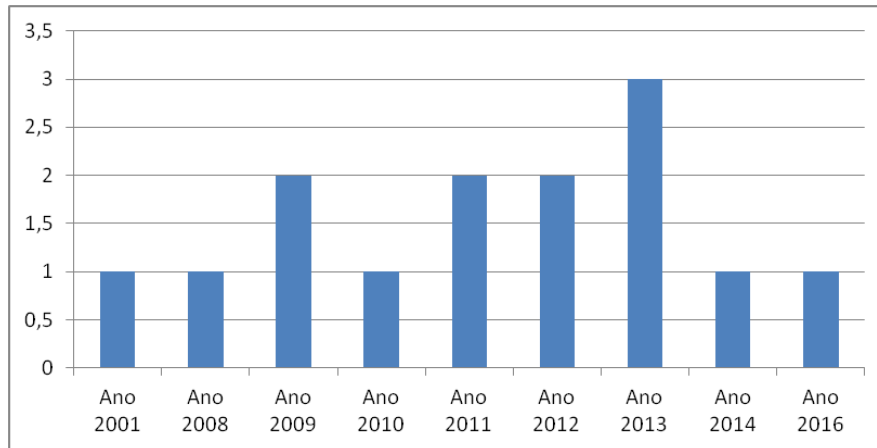


Figura 8 – Evolução das publicações relevantes de acordo com o tempo

Fonte: Elaborado pela autora.

É possível observar um grande intervalo de tempo entre a primeira e a segunda publicação, entre os anos de 2001 e 2008. Após esse período, observa-se que as publicações foram contínuas e com um aumento no ano de 2013.

Outra característica verificada foi o local de publicação. A Figura 9 mostra gráfico com as publicações de acordo com o local geográfico.

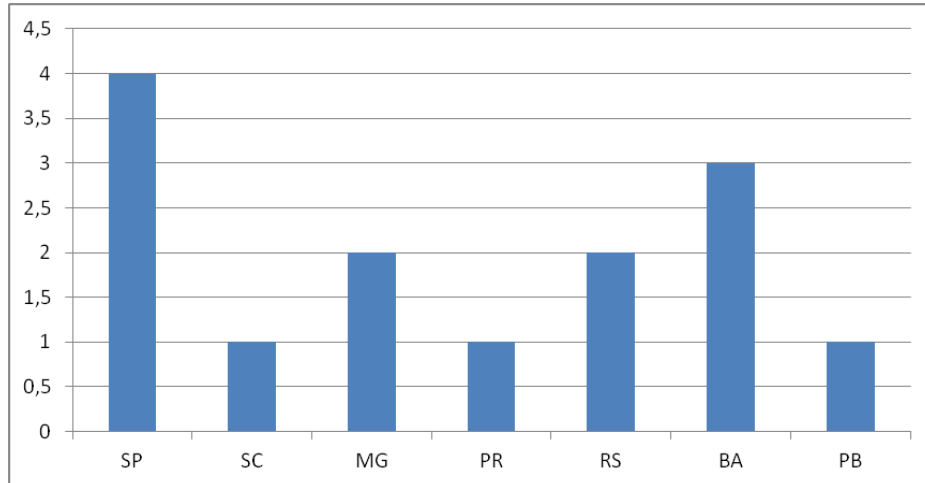


Figura 9 – Local de publicação

Fonte: Elaborado pela autora.

Como pode ser observado na Figura 9, o estado de São Paulo é o local com o maior número de publicações a respeito de capacidade de processos e estudos de caso. A Bahia segue em segundo lugar em relação ao número de publicações, e aparecem relevantes também os estados de Rio Grande do Sul e Minas Gerais com duas publicações. Tem-se ainda Santa Catarina, Paraná e Paraíba com alguma publicação.

Entre os resultados satisfatórios, foi observado primeiramente o tipo de distribuição que se tratava os dados e, posteriormente, identificados os índices de capacidade utilizados. Em todos os trabalhos foi verificado que a distribuição de dados era da forma normal – ou Gaussiana - porque as publicações estão na condição de controle estatístico. A Figura 10 mostra os principais índices encontrados.

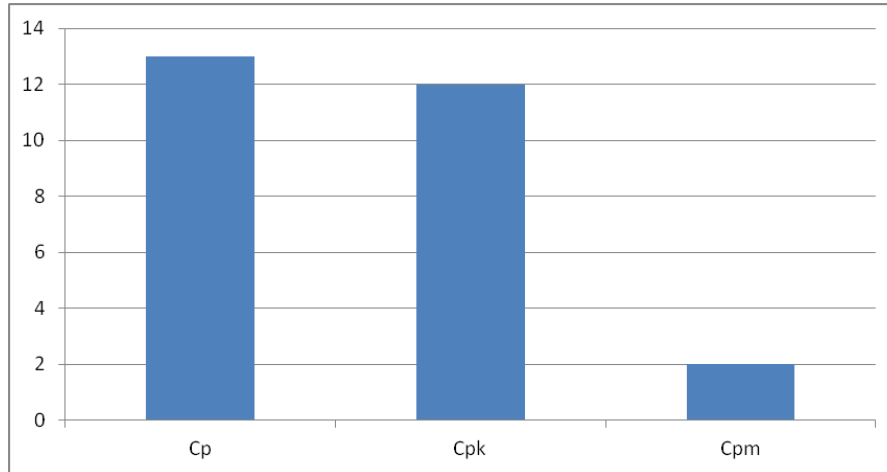


Figura 10 – Índices de capacidade utilizados

Fonte: Elaborado pela autora.

Pode ser verificado na Figura 10 que, como comprovado pela literatura, os índices Cp e Cpk são complementares, aparecendo juntos em aproximadamente 93% dos casos em que os índices de capacidade foram utilizados. Cpm aparece como um índice auxiliar, sendo pouco explorado – média de utilização fica abaixo de 15%.

Por fim, tem-se o resultado alcançado pelos índices de capacidade de cada publicação. Os índices podem mostrar se um processo é capaz ou incapaz de produzir de acordo com as especificações desejadas, como pode ser observado na Figura 11.

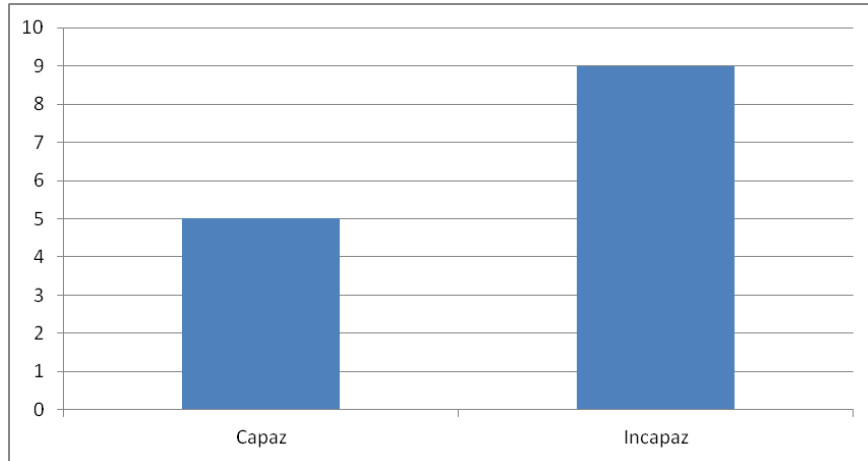


Figura 11 – Processo capaz X incapaz

Fonte: Elaborado pela autora.

Pela Figura 11 é possível visualizar que o resultado dos índices mostrou um número maior de processos incapazes de produzir de acordo com o que se é esperado – aproximadamente 64,3%. Os 35,7% restantes mostram processos identificados como capazes de produzir dentro das especificações.

Por fim, com os dados obtidos foi possível verificar que a maior vantagem da utilização dos índices de capacidade para este trabalho é conseguir mensurar processos totalmente distintos e poder compará-los, fazendo uma análise da difusão da aplicação de técnicas de capacidade de processos. Por outro lado, para as empresas, a utilização da capacidade de processos se mostrou uma ferramenta eficiente e eficaz contra o combate aos pontos de variabilidade, possibilitando realizar ações corretivas nos lugares corretos para otimizar uma determinada linha de produção.

O próximo tópico aborda os principais pontos encontrados na pesquisa como forma de fornecer ao leitor uma conclusão sobre o tema.

5 CONCLUSÃO

Devido ao vasto campo abordado pela capacidade de processos e pelo potencial dessa ferramenta, verificou-se que há, na literatura, poucas publicações sobre o tema. Espera-se que mais estudos sejam realizados sobre o assunto, oferecendo às empresas um melhor embasamento na aplicação dessa técnica que pode ser muito relevante na linha de produção de uma indústria.

A partir dos dados obtidos através da pesquisa, foi possível visualizar a difusão dos estudos envolvendo os índices de capacidade de processos no Brasil. Entre as características observadas, pode-se destacar estados com publicações significativas para o projeto como São Paulo, Bahia, Rio Grande do Sul e Minas Gerais. Em relação ao número de publicações com o passar do tempo, é possível afirmar que, ainda recente, esse campo de pesquisa vem sendo abordado cada vez mais pelas empresas.

Ao analisar os índices de capacidade empregados nos trabalhos relevantes, observou-se que a literatura foi comprovada na prática: aparecem como mais populares os índices C_p e C_{pk} . Os resultados dos estudos de casos realizados mostraram que mais de 64,3% dos processos são incapazes de produzir dentro das especificações desejadas, abrindo diversas oportunidades para melhorias nas linhas de fabricação.

Vale ressaltar também que todas as publicações encontradas possuem estudos de caso com distribuição normal de dados, mas a análise através dos índices de capacidade não se limita a isso. Como verificado na literatura, é possível fazer um estudo com dados que possuem distribuição não normal.

REFERÊNCIAS

BAYEUX, Carlos. **Análise da capacidade de processos – parte 1**. Banas Qualidade, 2001.

CONFORTO, Edivandro C; AMARAL, Daniel C; SILVA, Sérgio L. **Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos**. 8º Congresso brasileiro de gestão de desenvolvimento de produto, Porto Alegre - RS, 2011.

GONÇALEZ, Patrícia U; WERNER, Liane. **Comparação dos índices de capacidade do processo para distribuições não normais**. Gestão da Produção, São Carlos, 2009.

LOPES, Bernardo et al . Bioestatísticas: conceitos fundamentais e aplicações práticas. **Rev. bras. oftalmol.**, Rio de Janeiro , v. 73, n. 1, p. 16-22, Feb. 2014
Disponível em
<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-72802014000100016&lng=en&nrm=iso>. acesso em 23 de Setembro de 2016.

LOPES, Luis Felipe D. **Controle estatístico do processo**. UFSM, 2007.

MARTINELLI, Fernando B. **Gestão da qualidade total**. 1. ed. 2009

NETO, Jair R. S. et al. **Aplicação dos gráficos de controle e capacidade de processo para monitoramento em um dos processos da fabricação de mesas de bilhar**. 36º Encontro nacional de engenharia de produção, João pessoa – PB, 2011

PERUCHI, Rogério S. et al. **Aplicação de etapas definir e medir do roadmap DMAIC para um exemplo didático de projeto Seis Sigma**. 32º Encontro nacional de engenharia de produção, Bento Gonçalves – RS, 2012.

PORTAL ACTION, **Simulação do modelo normal**. Disponível em <<http://www.portalaction.com.br/simulacao-monte-carlo/223-simulacao-do-modelo-normal>>. Acesso em 20/11/2016.

RECHE, Ricardo A. *et al.* **Absorção de água em carcaças de frango: um estudo de sobre os fatores determinantes e a capacidade do processo.** 31° Encontro nacional de engenharia de produção, Belo Horizonte – MG, 2011.

RIBEIRO, José Luis D; CATEN, Carla S. **Controle estatístico do processo.** Porto Alegre, 2012.

RIBEIRO, Wankes L. Entendendo o básico do Six Sigma. Disponível em:<http://www.wankesleandro.com/> Acesso em 10 /10/2016.

SAGAWA, Juliana K. YAMADA, Ricardo Y. **Aplicação de ferramentas de controle estatístico a qualidade ao monitoramento da produção de etanol.** 33° Encontro nacional de engenharia de produção, Salvador – BA, 2013.

SANTOS, Adrielle M. *et al.* **Aplicação do controle estatístico de processos (CEP) no serviço de tele atendimento do setor de telefonia móvel pessoal (SMP) no Brasil.** 33° Encontro nacional de engenharia de produção, Salvador – BA, 2013.

Seis Sigma. Disponível em <
<http://www.administradores.com.br/mobile/artigos/economia-e-financas/artigo-sobre-six-sigma/67470/>> Acesso em 10 de abril de 2016.

SILVA, Murilo G. *et al.* **Aplicação no controle estatístico de processos no beneficiamento de café: um estudo de caso no sudeste goiano.** 33° Encontro nacional de engenharia de produção, Salvador – BA, 2013.

SILVA, Samuel F. C. *et al.* **Implantação do controle estatístico de processos em uma indústria de beneficiamento de castanhas de caju.** 33° Encontro nacional de engenharia de produção, Salvador – BA, 2013.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; HARLAND, Christine; HARRISON, Alan; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção.** 1. ed. – 10. reimp.. São Paulo: Atlas, 2006.

SOUZA, Maria Alice, **ASSIMETRIA.** 2012.

WATSON, Gregory; ARCE, John F. **Seis Sigma no gerenciamento dos processos e negócios das empresas.**

