

Modelo para Seleção  
de Projetos Seis Sigma

Cristiano Roos



Cristiano Roos

## **MODELO PARA SELEÇÃO DE PROJETOS SEIS SIGMA**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Doutor em Engenharia de Produção.

Orientador:

Prof. Dr. Edson Pacheco Paladini

Coorientadora:

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Linda Lee Ho

Coorientador do Estágio Sanduiche:

Prof. Dr. Elart von Collani

Florianópolis  
2014

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Roos, Cristiano

Modelo para seleção de projetos Seis Sigma /  
Cristiano Roos; orientador, Edson Pacheco Paladini;  
coorientadora, Linda Lee Ho. - Florianópolis, SC,  
2014.

163 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia de Produção.

Inclui referências

1. Engenharia de Produção. 2. Gestão da  
Qualidade. 3. Seis Sigma. 4. Modelo de Seleção. I.  
Paladini, Edson Pacheco. II. Ho, Linda Lee. III.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia de Produção. IV.  
Título.

Cristiano Roos

## **MODELO PARA SELEÇÃO DE PROJETOS SEIS SIGMA**

Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de Doutor em Engenharia de Produção, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Florianópolis, 12 de Fevereiro de 2014.

---

Professora Lucila Maria de Souza Campos, Dra.  
Coordenadora do Curso

### **Banca Examinadora:**

---

Prof. Edson Pacheco Paladini, Dr.  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof.<sup>a</sup> Linda Lee Ho, Dra.  
Coorientadora  
Universidade de São Paulo

---

Prof. Fernando Antonio Forcellini, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Jovane Medina Azevedo, Dr.  
Universidade do Estado de Santa Catarina

---

Prof.<sup>a</sup> Fabrícia Gonçalves de Carvalho, Dra.  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

---

Prof.<sup>a</sup> Andréa Cristina Konrath, Dra.  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof.<sup>a</sup> Janaína Renata Garcia, Dra.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Eu dedico este trabalho à minha namorada que me apoia desde o início da minha formação acadêmica.



## AGRADECIMENTOS

Ao final desta etapa da minha formação profissional, quero agradecer as pessoas e as instituições que direta ou indiretamente contribuíram com a realização deste trabalho.

Aos meus pais, pelo aconselhamento, apoio, e amor dedicados durante toda minha trajetória acadêmica e profissional.

À minha querida namorada, pela compreensão, apoio e presença fundamental em minha vida.

Ao professor e amigo Edson Pacheco Paladini, pelo ensinamento teórico-pragmático, essencialmente meritório.

Ao professor Elart von Collani, pelo ensinamento pragmático no estágio sanduíche.

À Professora Linda Lee Ho, pela contribuição qualificadora do projeto de pesquisa desta tese.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, pela teia de conhecimentos propiciados.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico (DAAD), pelos apoios financeiros.

Às organizações estudadas nesta tese, por oportunizarem a realização das pesquisas em seus processos de produção.

Aos meus verdadeiros amigos, pelos momentos fundamentais de descontração.



É possível que a ação de planejamento seja a mais relevante na arte de gerenciar a qualidade.

(Edson Pacheco Paladini, 2012)



## RESUMO

Esta tese tem por objetivo estruturar um modelo que otimize a efetividade na seleção de projetos Seis Sigma, considerando projetos com diferentes disponibilidades de variáveis aleatórias. A efetividade é aqui definida como a otimização conjunta dos meios (eficiência) e dos resultados (eficácia) relacionados à seleção de projetos Seis Sigma, ou em outras palavras, que os projetos com maiores potenciais de retorno financeiro sejam priorizados e selecionados. Como aporte para se alcançar o objetivo da tese, desenvolveu-se um conjunto de estudos de campo, especificamente, quatro estudos de caso e uma pesquisa do tipo levantamento *survey*. Com os estudos de campo e a revisão bibliográfica foi possível propor um modelo que otimize a efetividade na seleção de projetos Seis Sigma, considerando projetos com diferentes disponibilidades de variáveis aleatórias. O modelo foi baseado na teoria Grey, utilizando uma série de equações matemáticas. Na sequência aplicou-se este modelo por meio de uma pesquisa-ação, buscando avaliá-lo na prática. A principal conclusão foi que o modelo apresenta características capazes de trazer mais simplicidade ao processo de seleção de projetos Seis Sigma, ao mesmo tempo em que, traz menos subjetividade ao envolver séries qualitativas relacionadas a séries quantitativas. Assim, conclusivamente, esta tese proporcionou uma reflexão acerca da importância do modelo proposto para aquelas organizações que necessitam selecionar projetos Seis Sigma de modo menos subjetivo (com base numérica), utilizando-se relações de séries qualitativas e quantitativas.

**Palavras-chave:** Gestão da Qualidade. Seis Sigma. Seleção de Projetos.



## **ABSTRACT**

The objective of this thesis is to develop a model that optimizes the effectiveness in the selection of Six Sigma projects, with different availabilities of random variables. Effectiveness is defined here as the joint optimization of resources (efficiency) and performance (effectiveness) related to the selection of Six Sigma projects, or in other words, the projects with the higher potential for financial return are prioritized and selected. As contribution to achieve the objective of the thesis, we developed a set of field studies, specifically, four case studies and one survey research. With the field studies and the literature review was possible to propose a model that optimizes the effectiveness in the selection of Six Sigma projects, considering projects with different availabilities of random variables. The model is based on the Grey theory, by a series of mathematical equations. Following this model was applied by an action research seeking to evaluate it in practice. The main conclusion is that the model has characteristics able to bring more simplicity to the process of selection of Six Sigma projects at the same time, carries less subjectivity involving qualitative series related to quantitative series. So conclusively, this thesis provided a reflection on the importance of the proposed model for the organizations that require selecting Six Sigma projects with a less subjective mode (with numeric base), using qualitative and quantitative relations model series.

**Keywords:** Quality Management. Six Sigma. Project Selection.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Organização dos capítulos da tese. ....	33
Figura 2 – Distribuição normal de três sigmas a seis sigmas. ....	37
Figura 3 – Distribuição normal com deslocamento ao longo do tempo. ....	38
Figura 4 – Evidenciação e exploração do problema de pesquisa. ....	42
Figura 5 – Procedimentos de identificação do problema de pesquisa. ....	43
Figura 6 – Número de referências estratificado por ano de publicação. ....	45
Figura 7 – Número de referências estratificado por ano de publicação. ....	51
Figura 8 – Procedimentos metodológicos e objetivos específicos. ....	59
Figura 9 – Intervalos de confiança da média para 42 intervalos de dados de C112. ....	89
Figura 10 – Intervalos de confiança da variância para 42 intervalos de dados de C112. ....	89
Figura 11 – Intervalos de confiança da média para 42 intervalos de dados de C212. ....	90
Figura 12 – Intervalos de confiança da variância para 42 intervalos de dados de C212. ....	90
Figura 13 – Intervalos de confiança da média e da variância para o subintervalo 7 de C112. ....	91
Figura 14 – Intervalos de confiança da média e da variância para o subintervalo 8 de C112. ....	91
Figura 15 – Intervalos de confiança da média e da variância para o subintervalo 15 de C112. ....	92
Figura 16 – Intervalos de confiança da média e da variância para o subintervalo 15 de C112. ....	92
Figura 17 – Intervalos de confiança da média e da variância para o subintervalo 20 de C112. ....	93
Figura 18 – Intervalos de confiança da média e da variância para o subintervalo 2 de C212. ....	93
Figura 19 – Intervalos de confiança da média e da variância para o subintervalo 3 de C212. ....	94
Figura 20 – Intervalos de confiança da média e da variância para o subintervalo 8 de C212. ....	94
Figura 21 – Intervalos de confiança da média e da variância para o subintervalo 14 de C212. ....	95
Figura 22 – Ano em que a organização (ou unidade, ou filial) concluiu o primeiro projeto Seis Sigma. ....	108
Figura 23 – Em média, quantos projetos Seis Sigma são concluídos por ano. ....	108
Figura 24 – Em média, quantos projetos Seis Sigma são elaborados por ano. ....	109
Figura 25 – Em média, quantos projetos Seis Sigma são considerados no processo de seleção. ....	109
Figura 26 – Método auxiliar para utilização do modelo. ....	125
Figura 27 – Representação dos cálculos pelo modelo proposto. ....	130



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Parâmetros de busca de artigos publicados em periódicos. ....	44
Quadro 2 – Relação de assuntos e respectivos referenciais teóricos. ....	46
Quadro 3 – Relação de assuntos e respectivos referenciais teóricos. ....	47
Quadro 4 – Relação de assuntos e respectivos referenciais teóricos. ....	48
Quadro 5 – Parâmetros de busca de artigos publicados em periódicos. ....	50
Quadro 6 – Relação de assuntos e respectivos referenciais teóricos. ....	51
Quadro 7 – Relação de assuntos e respectivos referenciais teóricos. ....	52
Quadro 8 – Resumo das ações desenvolvidas em cada objetivo específico. ....	60
Quadro 9 – Classificações da pesquisa a ser desenvolvida. ....	62
Quadro 10 – Descrição resumida do processo de seleção do estudo 1. ....	70
Quadro 11 – Descrição resumida do processo de seleção do estudo 2. ....	84
Quadro 12 – Os projetos Seis Sigma e algumas respectivas variáveis. ....	85
Quadro 13 – Descrição resumida do processo de seleção do estudo 3. ....	97
Quadro 14 – Descrição resumida do processo de seleção do estudo 4. ....	103
Quadro 15 – Síntese dos resultados obtidos nas pesquisas de campo. ....	114
Quadro 16 – Lições geradas e que impactam na proposta do modelo. ....	116
Quadro 17 – Ações previstas da etapa pré-seleção. ....	126
Quadro 18 – Ações previstas da etapa seleção. ....	127
Quadro 19 – Ações previstas da etapa pós-seleção. ....	128
Quadro 20 – Escala específica do impacto na satisfação do consumidor. ....	134
Quadro 21 – Quadro conclusivo da tese. ....	141
Quadro 22 – Quadro conclusivo da tese. ....	142



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação do nível sigma e a posição competitiva da organização.....	36
Tabela 2 – Relação de defeitos por milhão de oportunidades a curto e longo...	39
Tabela 3 – Número de referências estratificado por tipo de fonte.....	45
Tabela 4 – Dados relacionados aos seis clientes considerando a métrica principal do projeto Seis Sigma.....	74
Tabela 5 – Dados relacionados aos subprocessos do processo de transformação mecânica ( <i>Lead Time</i> ).....	79
Tabela 6 – Dados relacionados aos seis clientes considerando a métrica principal do projeto Seis Sigma.....	82
Tabela 7 – Resultados do projeto Seis Sigma implementado.....	96
Tabela 8 – Os projetos Seis Sigma e respectivas variáveis críticas.....	98
Tabela 9 – Projetos Seis Sigma e níveis sigma por períodos característicos...	100
Tabela 10 – Resultados dos projetos Seis Sigma implementados.....	101
Tabela 11 – Os projetos Seis Sigma e respectivas variáveis críticas.....	105
Tabela 12 – Resultados dos projetos Seis Sigma implementados.....	106
Tabela 13 – A organização (ou unidade, ou filial) comercializa (ou produz) predominantemente.....	107
Tabela 14 – A organização (ou unidade, ou filial) descontinuou quantas vezes a estratégia Seis Sigma.....	108
Tabela 15 – A organização (ou unidade, ou filial) utiliza algum método de seleção de projetos Seis Sigma.....	109
Tabela 16 – A organização (ou unidade, ou filial) utiliza algum método matemático para selecionar projetos Seis Sigma.....	110
Tabela 17 – Nesta organização (ou unidade, ou filial) um novo método de seleção de projetos Seis Sigma é uma necessidade atual.....	110
Tabela 18 – Assinale os métodos de seleção de projetos Seis Sigma mais utilizados na organização (ou unidade, ou filial).....	110
Tabela 19 – Variáveis mais utilizadas na seleção de projetos Seis Sigma na organização (ou unidade, ou filial).....	110
Tabela 20 – Baseando-se no histórico de seleção de projetos Sis Sigma na organização (ou unidade, ou filial) qual tipo de método novo de seleção seria mais interessante.....	111
Tabela 21 – Plano de experimentos para o problema de pesquisa.....	129
Tabela 22 – Resultados para o plano de experimentos.....	131
Tabela 23 – Os projetos Seis Sigma e respectivas variáveis críticas.....	135
Tabela 24 – Projetos Seis Sigma e prioridades resultantes.....	137
Tabela 25 – Resultados dos projetos Seis Sigma implementados.....	138



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>27</b>
1.1 ORIGEM DO TRABALHO DE PESQUISA .....	28
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA .....	29
1.3 OBJETIVOS .....	30
1.3.1 Objetivo Geral .....	30
1.3.2 Objetivos Específicos.....	30
1.4 JUSTIFICATIVA.....	31
1.5 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO DE PESQUISA.....	31
1.6 LIMITAÇÃO DO TRABALHO DE PESQUISA .....	32
1.7 ESTRUTURA DO TEXTO .....	32
1.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	34
<b>2 SUPORTE TEÓRICO</b> .....	<b>35</b>
2.1. CONCEITOS BÁSICOS EM SEIS SIGMA.....	35
2.1.1 Definições em Seis Sigma.....	35
2.1.2 Procedimentos estratégicos, táticos e operacionais em Seis Sigma.....	39
2.2 EVIDENCIAÇÃO E EXPLORAÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA .....	42
2.2.1 Varredura horizontal: pesquisa bibliográfica em Seis Sigma.....	43
2.2.2 Varredura vertical: pesquisa bibliográfica em seleção de projetos Seis Sigma.....	49
2.3 OPORTUNIDADE DE PESQUISA IDENTIFICADA E QUE RESPALDA ESTE TRABALHO .....	53
2.3.1 Definições em seleção de projetos Seis Sigma.....	53
2.3.2 Oportunidade de pesquisa em seleção de projetos Seis Sigma.....	55
2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	57
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	<b>59</b>
3.1 CLASSIFICAÇÃO METODOLÓGICA DA PESQUISA .....	61
3.2 PESQUISA DO TIPO ESTUDO DE CASO.....	62
3.3 PESQUISA DO TIPO SURVEY .....	64
3.4 PESQUISA-AÇÃO.....	65
3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	67
<b>4 SUPORTE PRÁTICO</b> .....	<b>69</b>
4.1 ESTUDO QUALITATIVO DE CAMPO 1 .....	69
4.1.1 Objetivo do estudo qualitativo de campo 1 .....	69
4.1.2 Processo de seleção e variáveis críticas do estudo 1 .....	70
4.1.3 Pesquisa aplicada do estudo 1 .....	71
4.1.4 Resultados práticos do estudo qualitativo de campo 1 .....	81
4.2 ESTUDO QUALITATIVO DE CAMPO 2 .....	83
4.2.1 Objetivo do estudo qualitativo de campo 2 .....	83
4.2.2 Processo de seleção e variáveis críticas do estudo 2 .....	83
4.2.3 Pesquisa aplicada do estudo 2 .....	84
4.2.4 Resultados práticos do estudo qualitativo de campo 2 .....	95
4.3 ESTUDO QUALITATIVO DE CAMPO 3 .....	96

4.3.1	Objetivo do estudo qualitativo de campo 3	97
4.3.2	Processo de seleção e variáveis críticas do estudo 3	97
4.3.3	Pesquisa aplicada do estudo 3	98
4.3.4	Resultados práticos do estudo qualitativo de campo 3	101
4.4	ESTUDO QUALITATIVO DE CAMPO 4	102
4.4.1	Objetivo do estudo qualitativo de campo 4	102
4.4.2	Processo de seleção e variáveis críticas do estudo 4	102
4.4.3	Pesquisa aplicada do estudo 4	103
4.4.4	Resultados práticos do estudo qualitativo de campo 4	106
4.5	ESTUDO QUANTITATIVO DE CAMPO	107
4.5.1	Objetivo do estudo quantitativo de campo	107
4.5.2	Resultados práticos do estudo quantitativo de campo	107
4.5.3	Considerações finais do estudo quantitativo de campo	111
4.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	112
<b>5</b>	<b>PROPOSTA DO MODELO</b>	<b>117</b>
5.1	MODELO DE SELEÇÃO DE PROJETOS SEIS SIGMA	117
5.1.1	Fatores de decisão pela teoria Grey para o modelo	118
5.1.2	Definições sobre a teoria Grey para o modelo	119
5.1.3	Modelo proposto	120
5.2	MÉTODO AUXILIAR PARA UTILIZAÇÃO DO MODELO PROPOSTO	124
5.2.1	Etapa 1: Pré-seleção	125
5.2.2	Etapa 2: Seleção	126
5.2.3	Etapa 3: Pós-seleção	127
5.3	EXPERIMENTOS COM O MODELO PROPOSTO	128
5.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	132
<b>6</b>	<b>AValiação DO MODELO</b>	<b>133</b>
6.1	OBJETIVO DO ESTUDO DE CAMPO	133
6.2	PROCESSO DE SELEÇÃO E VARIÁVEIS CRÍTICAS	133
6.3	PESQUISA APLICADA	134
6.3.1	Contextualização: apresentação dos projetos Seis Sigma	135
6.3.2	Processo de seleção de projetos Seis Sigma	136
6.3.3	Resultados práticos da pesquisa-ação	137
6.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	139
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>141</b>
7.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	143
7.2	CONSIDERAÇÕES FINAIS	143
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>145</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O principal escopo da Engenharia de Produção é o trabalho no projeto, na implantação e na melhoria de sistemas de produção, onde basicamente busca-se a combinação otimizada de materiais, equipamentos, informações, energias, ambientes e pessoas para a produção de bens e serviços. Todo esforço é no sentido de melhorar o desempenho dos processos de produção de bens e serviços. Enquanto de maneira focada, a Engenharia de Produção busca a otimização de resultados em qualquer tipo de organização, de maneira abrangente busca nas diferentes áreas do conhecimento princípios e métodos para esta otimização.

Seja para a melhoria do desempenho de processos específicos ou para a otimização dos resultados globais de uma organização, torna-se indispensável o desenvolvimento de estratégias de negócio bem definidas e executáveis. As estratégias de negócio apontam para o horizonte almejado pela maioria das organizações: o lucro e a sobrevivência em longo prazo. Para tanto o papel de protagonista fica por conta do cliente.

O cliente demanda necessidades que são traduzidas em especificações dos produtos e dos serviços, de maneira que os papéis coadjuvantes fiquem por conta dos princípios e métodos envolvidos para o melhor atendimento desta demanda, ou até mesmo, para a superação desta. As especificações demandadas podem ser das mais variadas espécies, contudo atender o cliente no tempo, com o preço e a qualidade desejados sempre foram demandas de maior peso. Independentemente da conceituação teórica que seja admitida, a qualidade tornou-se um dos mais importantes fatores para o cliente no momento da decisão por produtos e serviços que concorrem entre si.

A busca constante das organizações pela melhoria da qualidade se consolidou como uma das estratégias mais seguidas nos diferentes segmentos de mercado. Esta realidade é motivada pela vantagem competitiva que a qualidade proporciona frente às crescentes exigências dos clientes, que sem dúvida são beneficiados pela globalização da concorrência, pelo desenvolvimento tecnológico, pelo avanço científico e pela disponibilidade cada vez mais acentuada de melhores produtos e serviços.

O método de gestão da qualidade adotado por uma organização representa o caminho escolhido para adequar-se ao nível de qualidade demandado pelo cliente. Neste contexto, a iniciativa Seis Sigma apresenta um sistema de gestão que tem se mostrado eficiente e eficaz

em nortear organizações no caminho da melhoria, tomando a qualidade como referência fundamental.

Seis Sigma é uma estratégia de negócio bem conhecida utilizada para a melhoria da qualidade por meio de um conjunto de métodos estruturados e medidas estatísticas para avaliar e melhorar os processos das organizações (ANTONY et al., 2012). Seis Sigma tem sido utilizado por mais de uma década (KUMAR et al., 2008) por organizações de classe mundial como General Electric, Motorola, Honeywell, Bombardier, ABB e Sony, para citar apenas alguns de uma longa lista (ANTONY, 2006), resultando em milhões de dólares de lucro (HILTON e SOHAL, 2012). Na maioria dos casos, uma organização utiliza a estratégia Seis Sigma para alcançar benefícios na lucratividade ou na satisfação do cliente (RAY, DAS, BHATTACHARYA, 2011).

A estratégia Seis Sigma se tornou conhecida em muitos países devido à sua capacidade em melhorar o desempenho de um processo, reduzir defeitos em produtos e serviços, minimizando a variabilidade em processos, bem como os custos operacionais (KUMAR, ANTONY e CHO, 2009). Esta estratégia resulta em maior satisfação dos clientes e afeta diretamente a lucratividade e a sobrevivência das organizações (SNEE, 2004; ANTONY, KUMAR e MADU, 2005; ANTONY, 2007).

A literatura qualificada sugere que o fator chave para o sucesso da estratégia Seis Sigma é a seleção de projetos (MARQUES et al., 2013; MANVILLE et al., 2012; CHO et al., 2011; SHARMA e CHETIYA, 2010; LAUREANI, ANTONY e DOUGLAS, 2010; TKÁC e LYÓCSA, 2009; KUMAR et al., 2007; BANUELAS et al., 2006). Seleção de projetos é o processo de avaliação de projetos individuais ou grupos de projetos, escolhendo-se pela implementação de um ou um conjunto de projetos, para que os objetivos da organização sejam alcançados (PADHY e SAHU, 2011).

A gênese deste trabalho de pesquisa está relacionada à seleção de projetos Seis Sigma, sendo apresentada na subseção seguinte.

## 1.1 ORIGEM DO TRABALHO DE PESQUISA

A pesquisa que originou esta tese foi iniciada no mês de março do ano de 2009, após identificar-se na literatura qualificada uma oportunidade de pesquisa na fronteira do conhecimento, portanto, é entendível que se tenha uma literatura básica desta época para respaldar o problema de pesquisa, que está baseado em quatro constatações. Primeira constatação: citação contida em Antony (2006), onde o autor manifesta-se argumentando que a priorização de projetos Seis Sigma em

muitas empresas orientadas a serviços ainda é baseada em julgamento subjetivo. Segunda constatação: citação em Kumar et al. (2008), os autores argumentam que há uma escassez de literatura sobre seleção de projetos Seis Sigma, um tema que passa despercebido na maioria das organizações. Terceira constatação: em Kumar, Antony e Cho (2009), os autores argumentam que a errônea seleção de projetos Seis Sigma continua acontecendo mesmo nas organizações mais bem administradas. Quarta constatação: em Padhy e Sahu (2011), os autores argumentam que a seleção e a priorização de projetos Seis Sigma em muitas organizações ainda são baseadas em puro julgamento subjetivo. Pode definir-se julgamento subjetivo como a utilização insuficiente de dados quantitativos, isto é, casos em que se utilizam meios puramente baseados na opinião e na experiência das pessoas envolvidas no processo de seleção de projetos Seis Sigma.

De fato, no ano de 2013, período em que esta tese foi concluída, este problema de pesquisa já não é mais citado. Isto porque não há mais uma escassez de literatura sobre seleção de projetos Seis Sigma, pelo contrário, quadrimestralmente pode-se encontrar um número razoável de novos artigos em periódicos qualificados abordando este tema. Como no período que coincide com o início das pesquisas desta tese a seleção de projetos Seis Sigma ainda não era um tema consolidado na literatura, tornou-se foco de pesquisa para uma série de autores, que propõem algumas soluções, conforme se verá nesta tese.

Neste contexto, considerando que os projetos Seis Sigma são a expressão máxima da estratégia de negócios, é imperativo que uma organização selecione projetos adequados, a fim de operacionalizar efetivamente a sua estratégia (KORNFELD e KARA, 2013). Assim, reputando que a seleção de projetos Seis Sigma é um tema de grande interesse e importância, no entanto, não consolidado na literatura qualificada, torna-se possível a formulação do problema de pesquisa desta tese.

## 1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

O problema de pesquisa pode ser assim descrito: *como selecionar projetos Seis Sigma de forma quantitativa e, ao mesmo tempo, sem a utilização de modelos matemáticos complexos?*

Cabe ressaltar que no segundo capítulo desta tese o problema de pesquisa será retomado, em específico, será apresentado o referencial teórico consultado, que evidenciará que atualmente a seleção de projetos Seis Sigma ainda é uma oportunidade de pesquisa.

### 1.3 OBJETIVOS

Os objetivos aqui propostos foram elaborados visando solucionar o problema de pesquisa por meio de métodos de pesquisa científica, tratando-se de um esforço para contribuir com o avanço da fronteira do conhecimento científico. Os objetivos foram propostos buscando contribuições compatíveis com o desenvolvimento de uma tese de doutorado.

#### 1.3.1 Objetivo Geral

*Estruturar um modelo que otimize a efetividade na seleção de projetos Seis Sigma, considerando projetos com diferentes disponibilidades de variáveis aleatórias.* A efetividade é aqui definida como a otimização conjunta dos meios (eficiência) e dos resultados (eficácia) relacionados à seleção de projetos Seis Sigma, ou em outras palavras, que os projetos com maiores potenciais de retorno financeiro sejam priorizados e selecionados.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

Além dos objetivos específicos que são apresentados na sequência, este trabalho inclui um objetivo comum à maioria das pesquisas científicas: desenvolver uma pesquisa bibliográfica que inclua referências recentes e relevantes para o tema em questão. Os objetivos específicos são:

- (i) Identificar como organizações industriais procedem para selecionar projetos Seis Sigma;
- (ii) Propor um modelo de seleção que priorize projetos Seis Sigma com maiores potenciais de retorno a partir de fatores de decisão pré-estabelecidos;
- (iii) Avaliar o modelo proposto por meio de experimentos com variáveis aleatórias envolvidas na seleção de projetos Seis Sigma;
- (iv) Consolidar o modelo proposto por meio de uma aplicação prática de campo e incluir procedimentos operacionais para viabilizar a aplicação prática do modelo.

## 1.4 JUSTIFICATIVA

A principal justificativa para o desenvolvimento desta tese decorre do problema de pesquisa apresentado. De fato, o problema de pesquisa foi respaldado por constatações na literatura qualificada e que evidenciam a necessidade por modelos mais objetivos (de base quantitativa) para selecionar projetos Seis Sigma. Assim: estruturar um modelo que otimize a efetividade na seleção de projetos Seis Sigma é importante, principalmente, para maximizar o retorno esperado da atividade, isto é, o lucro das organizações que utilizam a estratégia Seis Sigma.

Além disso, embora haja considerável corpo de literatura qualificada sobre seleção de projetos Seis Sigma, este referencial teórico pouco revela sobre o que realmente ocorre na indústria (KORNFELD e KARA, 2013). Para atender a esta questão, pretende-se determinar como a indústria seleciona projetos Seis Sigma na prática, para que o modelo a ser proposto seja o mais adequado possível ao contexto real de implementação da estratégia Seis Sigma.

Outra justificativa, a mais importante, é a real contribuição teórica e prática desta tese para a literatura da área. Nesta tese é estruturado um modelo de seleção de projetos Seis Sigma a partir de detalhado exame da literatura qualificada e de diversos estudos práticos de campo. Portanto, o modelo proposto tem como efeitos multiplicadores contribuições econômicas para as organizações que aplicam a iniciativa Seis Sigma, bem como, contribuições acadêmicas para o contexto científico da área.

De modo análogo, importante ressaltar o impacto estratégico da tese. O modelo inédito proposto aqui poderá ser estrategicamente adotado pelas organizações como método para selecionar projetos Seis Sigma. Neste caso, o impacto da tese seria relevante, pois alteraria a lógica do processo de seleção utilizado em muitos casos práticos reais. E isto, também justifica o desenvolvimento desta tese.

## 1.5 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO DE PESQUISA

Tendo sido apresentada a justificativa, torna-se necessária a exposição da delimitação da tese. A pesquisa delimita-se: (1) ao tema seleção de projetos Seis Sigma; (2) à abordagem envolvendo modelos de seleção e priorização de projetos. De fato, à medida que as pesquisas avançam no cenário científico os temas e os assuntos abordados tornam-se cada vez menos generalistas e mais específicos. Esta tese insere-se

neste contexto, pois minimiza a abordagem generalista do contexto Seis Sigma e busca contribuir especificamente com o desenvolvimento de um modelo de seleção de projetos Seis Sigma.

## 1.6 LIMITAÇÃO DO TRABALHO DE PESQUISA

Diretamente relacionada à delimitação, a principal limitação da tese é a representatividade dos casos práticos que ajudarão a subsidiar o desenvolvimento do modelo de seleção: o estudo inclui quatro organizações industriais como amostra na pesquisa do tipo estudo de caso, e quarenta e oito organizações como amostra na pesquisa *survey*. Esta limitação no desenvolvimento do trabalho de pesquisa decorre das restrições de tempo para a conclusão desta tese, bem como das dificuldades de acesso às informações necessárias ao projeto nas organizações estudadas.

No entanto, ainda que a tese forneça evidências de que o modelo proposto e avaliado possui aplicabilidade satisfatória, reconhece-se que serão resultados limitados e derivados destes casos práticos. Metodologicamente, não se podem generalizar as inconsistências específicas nos resultados para outros contextos empíricos. Pesquisas futuras devem focar outras organizações para investigar se existem diferenças significantes nos resultados.

De fato, cabe ressaltar que o modelo de seleção pode ser aplicado em casos específicos, mas estes casos não são raros, ao contrário, são bem comuns. Em outras palavras, o modelo pode ser aplicado para organizações com diferentes quantidades de variáveis aleatórias disponíveis para a seleção de projetos Seis Sigma, fato que torna o modelo aplicável em uma série de casos.

## 1.7 ESTRUTURA DO TEXTO

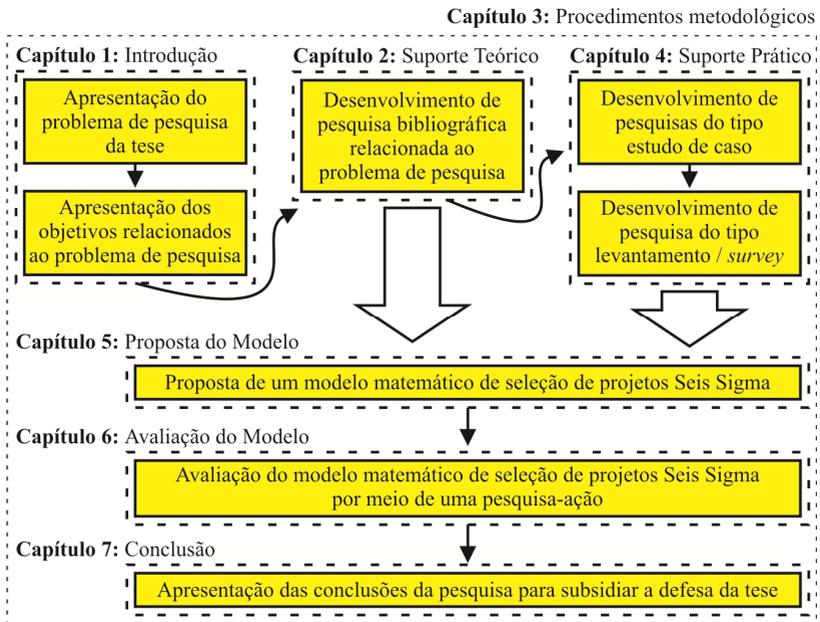
Organizou-se este trabalho de pesquisa em sete capítulos, ver Figura 1 e descrições que seguem:

Capítulo 1 - Introdução; são apresentadas as considerações iniciais, a gênese do trabalho, o problema de pesquisa, os objetivos, a justificativa, a delimitação, a limitação e a estrutura deste texto.

Capítulo 2 - Suporte Teórico; é apresentado o subsídio teórico da pesquisa, sendo abordada em detalhes a oportunidade de pesquisa que respalda esta tese.

- Capítulo 3 - Procedimentos Metodológicos; são apresentados de modo geral os métodos técnicos da pesquisa e, de modo específico, as informações pertinentes ao desenvolvimento das etapas da pesquisa que subsidiam a defesa desta tese.
- Capítulo 4 - Suporte Prático; são apresentados subsídios coletados em ambientes de aplicação prática do Seis Sigma, em específico, resultados de quatro estudos qualitativos de campo e de um estudo quantitativo de campo.
- Capítulo 5 - Proposta do Modelo; aqui um modelo de seleção de projetos Seis Sigma é proposto, modelo este sustentado pelos resultados dos estudos de campo, sendo que, adicionalmente é proposto um método que auxilia a utilização do modelo proposto.
- Capítulo 6 - Avaliação do Modelo; são apresentados resultados de uma pesquisa qualitativa de campo que buscou avaliar o modelo de seleção proposto.
- Capítulo 7 - Conclusão; são apresentadas as conclusões da pesquisa para subsidiar a defesa da tese.

Figura 1 – Organização dos capítulos da tese.



Com estas definições, segue-se para as considerações finais deste capítulo.

## 1.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentadas as considerações iniciais, o tema da tese, a origem do trabalho de pesquisa, o problema de pesquisa, os objetivos propostos, a justificativa, a delimitação e a limitação do trabalho de pesquisa. Fazendo-se uma análise crítica em relação a este capítulo, pode-se perceber que o problema de pesquisa foi pouco detalhado, sendo necessário um melhor entendimento da oportunidade de pesquisa. Para suprir esta deficiência, no próximo capítulo a oportunidade de pesquisa será detalhada, e para tanto, o capítulo é composto por três partes principais: 1. Inicialmente, é apresentado um referencial teórico resumido abordando a iniciativa Seis Sigma; 2. Na sequência, são apresentadas duas pesquisas bibliográficas básicas para evidenciar e explorar o problema de pesquisa ou oportunidade de pesquisa; 3. Finalmente, é apresentada uma discussão da oportunidade de pesquisa que justifica o desenvolvimento da tese.

## **2 SUPORTE TEÓRICO**

O principal intuito deste capítulo é subsidiar o entendimento do problema de pesquisa e, assim, o capítulo foi dividido em quatro subseções. A subseção 2.1 traz uma síntese do referencial teórico sobre a iniciativa Seis Sigma, sendo definido de modo geral e específico em termos dos procedimentos estratégicos, táticos e operacionais. O intuito nesta subseção é trazer um entendimento básico para leigos no que diz respeito ao Seis Sigma.

A subseção 2.2 traz duas pesquisas bibliográficas básicas para evidenciar e explorar o problema de pesquisa. A subseção 2.2.1 traz uma pesquisa bibliográfica sobre Seis Sigma, evidenciando a existência do problema de pesquisa. A subseção 2.2.2 traz uma pesquisa bibliográfica específica sobre seleção de projetos Seis Sigma. Isto é, enquanto na subseção 2.2.1 tem-se uma varredura horizontal, pouco restritiva em termos de palavras-chave, apenas para comprovar a existência do problema de pesquisa; na subseção 2.2.2 tem-se uma varredura vertical, mais restritiva em termos de palavras-chaves, justamente para explorar o problema de pesquisa.

As subseções 2.3 e 2.4 trazem o fechamento do capítulo. Em específico, a subseção 2.3 traz a discussão da oportunidade de pesquisa a partir da problemática definida e, por último, a subseção 2.4 traz as considerações finais do capítulo.

### **2.1. CONCEITOS BÁSICOS EM SEIS SIGMA**

#### **2.1.1 Definições em Seis Sigma**

O Seis Sigma é uma iniciativa estratégica de gestão e com forte propriedade estatística que busca reduzir a variabilidade nos processos das organizações, interferindo diretamente na qualidade de produtos e serviços e indiretamente na satisfação do cliente (ECKES, 2001; PANDE, NEUMAN e CAVANAGH, 2000; RODRIGUES, 2004; ROTONDARO, 2002). O Seis Sigma alinha a gestão da qualidade com as estratégias de negócio, podendo ser aplicado não somente nos principais processos, mas sim em todos os processos existentes na organização. Diferente de outras iniciativas de gestão da qualidade, o Seis Sigma vem gerando importantes resultados financeiros (CARVALHO e PALADINI, 2006; ECKES, 2001; RODRIGUES, 2004; ROTONDARO, 2002).

O nome Seis Sigma, tradução de *Six Sigma*, é uma marca registrada pela Motorola, organização que desenvolveu a iniciativa nos anos de 1980 (PANDE, NEUMAN e CAVANAGH, 2001). O Seis Sigma ganhou repercussão nos anos de 1990, depois que organizações como Motorola, General Eletric, Allied Signal, Citybank, entre outras, passaram a utilizar e apresentar o Seis Sigma como principal iniciativa à condução de resultados de sucesso (CORONADO e ANTONY, 2002). Os resultados de sucesso destas organizações foram obtidos a partir de um constante esforço para solucionar problemas, um forte empenho em reduzir a variabilidade nos processos e um fundamental zelo pelas necessidades demandadas pelo cliente (ZINKGRAF, 2000). O nome Seis Sigma vem da linguagem estatística, fazendo referência a seis sigmas para mais e para menos da média. Estes seis sigmas são o nível de desempenho objetivado pela iniciativa Seis Sigma, correspondendo a um processo praticamente livre de não conformidades, apenas 3,4 não conformidades ou defeitos por milhão de oportunidades (CHAKRABARTY e TAN, 2007).

Utiliza-se no Seis Sigma o termo “defeitos por milhão de oportunidades” (DPMO) para expressar a quantidade de não conformidades ou de defeitos num processo. O número de defeitos por milhão de oportunidades é convertido para nível sigma, termo mais usual na linguagem das organizações que utilizam a iniciativa Seis Sigma (HOLTZ e CAMPBELL, 2004). O nível sigma global de uma organização é resultado da média de todos os níveis sigmas controlados nos processos. Quanto mais próximo de um nível sigma global de seis sigmas, melhor caracteriza-se a posição competitiva da organização, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Relação do nível sigma e a posição competitiva da organização.

Nível Sigma	Defeitos por milhão de oportunidades (DPMO)	Posição competitiva
1	697672,15	Organização não competitiva
2	308770,21	
3	66810,63	Organização dentro da média mundial
4	6209,79	
5	232,67	Organização de classe mundial
6	3,40	

Fonte: Adaptado de Rotondaro (2002)

É interessante ressaltar que existe uma diferença entre os seis sigmas da linguagem estatística e os seis sigmas da linguagem Seis Sigma (VOELKEL, 2004). Os seis sigmas da linguagem estatística implicam 0,002 defeitos por milhão de oportunidades, conformação de 99,999998%, Figura 2. Já os seis sigmas da linguagem Seis Sigma implicam em 3,4 defeitos por milhão de oportunidades, conformação de 99,99966%, Figura 3.

Figura 2 – Distribuição normal de três sigmas a seis sigmas.

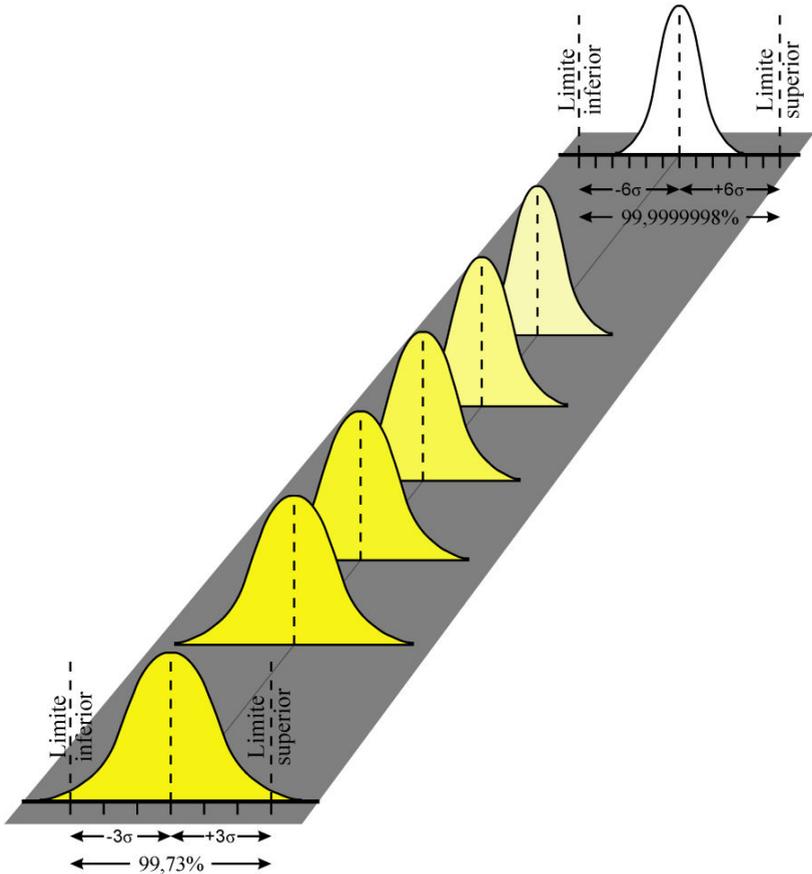
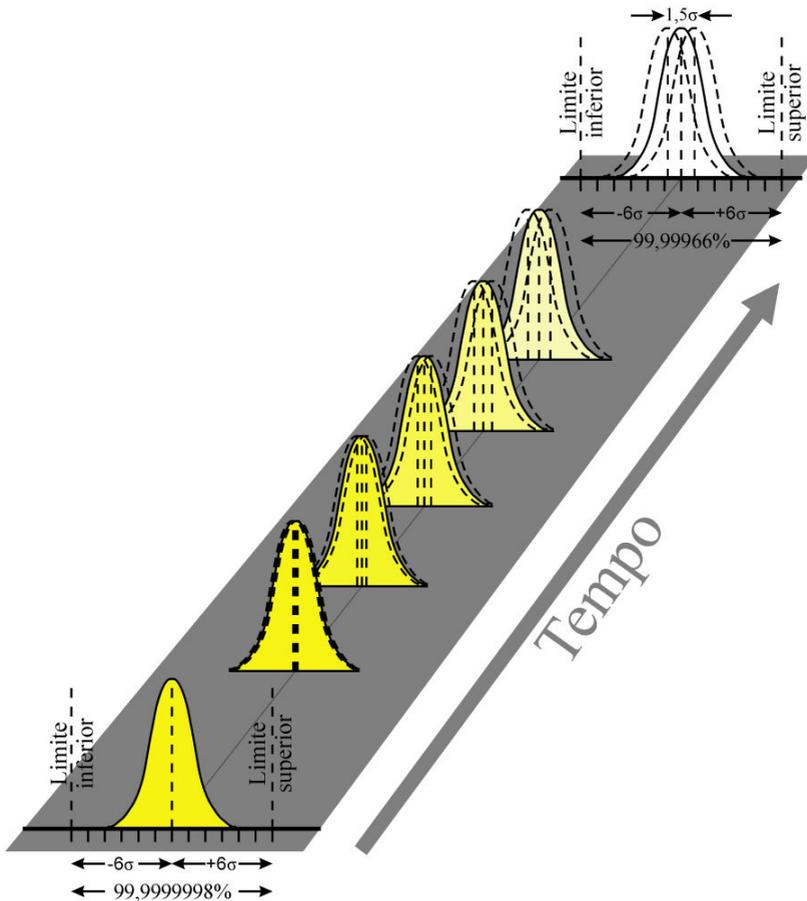


Figura 3 – Distribuição normal com deslocamento ao longo do tempo.



As duas linguagens não devem ser consideradas separadamente, pois a diferença que existe pode ser justificada pela variação de 1,5 sigmas que ocorre naturalmente na média dos processos ao longo do tempo, já que vários fatores podem provocar esta variação (BREYFOGLE, 2003; VOELKEL, 2004). Em relação a esta variação, pode-se verificar na Tabela 2 o que ocorre a curto e longo prazo com os defeitos por milhão de oportunidades.

Tabela 2 – Relação de defeitos por milhão de oportunidades a curto e longo.

Nível Sigma	DMPO (Curto Prazo)	DMPO (Longo Prazo)
0	1000000,000	1000000,00
1	317310,520	697672,15
2	45500,124	308770,21
3	2699,934	66810,63
4	63,372	6209,79
5	0,574	232,67
6	0,002	3,40

Fonte: Adaptado de Breyfogle (2003)

### 2.1.2 Procedimentos estratégicos, táticos e operacionais em Seis Sigma

O lucro e a sobrevivência em longo prazo são os objetivos da maioria das organizações. Contudo muitas esquecem que a lucratividade e a sobrevivência estão diretamente relacionadas à satisfação e ao encantamento do cliente (ECKES, 2001). No Seis Sigma tem-se esta estratégia bem definida: os clientes demandam necessidades a serem atendidas; os processos são trabalhados de forma a melhor atender as necessidades demandadas pelos clientes; e os demais recursos, princípios e métodos são utilizados nos processos para projetá-los, melhorá-los, controlá-los e integrá-los (RODRIGUES, 2004).

Surge a questão: mas afinal, qual é a dinâmica do Seis Sigma? A resposta é simples: o Seis Sigma está fundamentado em princípios e métodos que fazem tudo acontecer com o auxílio de recursos, como por exemplo, pessoas, ferramentas e métodos. A organização deve adotar a iniciativa Seis Sigma como uma abordagem estratégica e com a difusão do pensamento estatístico, sendo o controle do desempenho fundamental para a melhoria dos resultados (ROTONDARO, 2002). O Seis Sigma pode ser utilizado de modo associado a outras iniciativas de gestão da qualidade, ou como a única iniciativa para a gestão da qualidade (MCADAM e LAFFERTY, 2004).

A abordagem estratégica do Seis Sigma possibilita a melhoria de resultados em toda organização a partir do seguimento de objetivos estratégicos (HOLTZ e CAMPBELL, 2004; BYRNE, LUBOWE e BLITZ, 2007). Os objetivos estratégicos abrangem todos os níveis hierárquicos, orientando a organização no sentido da melhoria de resultados. Seguindo as definições de Slack, Chambers e Johnston

(2002), os três níveis estratégicos hierárquicos em uma organização são: estratégia corporativa, estratégia de negócio, e estratégia funcional.

A difusão do pensamento estatístico em toda organização é fundamental para que a iniciativa Seis Sigma possa ser utilizada no seguimento de objetivos estratégicos (HONG e GOH, 2003). O pensamento estatístico permite além da obtenção da métrica fundamental de desempenho Seis Sigma, outras métricas importantes para a iniciativa Seis Sigma como, por exemplo: a validação de causas raízes de problemas, a identificação de fontes de variações nos processos, e a determinação de alternativas mais promissoras para a melhoria dos resultados (HONG e GOH, 2003; SNEE, 2003a).

Sob o viés tático e operacional, a iniciativa Seis Sigma é efetivamente introduzida em uma organização por meio da utilização de diferentes métodos de intervenção: DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve and Control*) (NAVE, 2002), DFSS (*Design For Six Sigma*) (BLACK e REVERE, 2006), CDSS (*Customer-Driven Six Sigma*) (MCCARTY e FISHER, 2007), DMADV (*Define, Measure, Analyze, Design, Verify*) (SNEE, 2005), DMADOV (*Define, Measure, Analyze, Design, Optimize, Verify*) (YANG et al., 2007), DABTL (*Define, Architect, Build, Test, Launch*) (YANG et al., 2007), DMAEV (*Define, Measure, Analyze, Enable, Verify*) (YANG et al., 2007), ICOV (*Identify, Characterize, Optimize, Verify*) (MADER, 2002), IDOV (*Identify, Design, Optimize, Validate*) (CHAKRABARTY e TAN, 2007), DCCDI (*Define, Customer Concept, Design, Implement*) (CHAKRABARTY e TAN, 2007), DMEDI (*Define, Measure, Explore, Develop, Implement*) (CHAKRABARTY e TAN, 2007).

Contudo, o método mais difundido e usual é o DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve and Control*). Este método, assim como os demais, possui uma abordagem cíclica. De modo resumido pode-se explicar cada fase da seguinte maneira: 1. Definir, tradução de *Define*, é a etapa onde se identifica o problema a ser resolvido, definem-se os requisitos, e estabelecem-se metas; 2. Medir, tradução de *Measure*, é a etapa onde se valida o problema, e mede-se o desempenho atual; 3. Analisar, tradução de *Analyze*, é a etapa onde se desenvolvem hipóteses, identificam-se as causas raízes de problemas, e validam-se as hipóteses; 4. Melhorar, tradução de *Improve*, é a etapa onde se desenvolve idéias para remover causas raízes, testam-se soluções, padronizam-se soluções, e mede-se o novo desempenho; 5. Controlar, tradução de *Control*, é a etapa onde se estabelecem padrões para manter o desempenho, controla-se o desempenho, e corrigem-se os problemas quando necessário

(HOLTZ e CAMPBELL, 2004; SENAPATI, 2004; SEKHAR e MAHANTI, 2006; THOMAS, BARTON e BYARD, 2008).

Independentemente do método que seja utilizado pela organização, a maneira mais usual de intervenção utilizando os métodos é por meio dos projetos Seis Sigma. Os projetos Seis Sigma, em geral, são derivados dos objetivos estratégicos, possuindo como propósito principal a redução da variabilidade nos processos. Num projeto Seis Sigma são definidos objetivos, etapas, responsáveis, recursos, tempos necessários, benefícios esperados, ou seja, é uma melhoria dos resultados agendada previamente (ANTONY, 2006; SNEE, 2001).

Independente do método, muitas ferramentas de subsídio à gestão da qualidade podem ser utilizadas nos projetos Seis Sigma para auxiliar na obtenção de resultados de sucesso. Alguns exemplos de ferramentas são: *team charter*, *benchmarking*, *brainstorming*, *failure mode and effects analysis*, *box plot*, *Poka Yoke*, mapeamento, fluxograma, matriz de priorização, análise de capacidade do processo, histograma, gráfico de Pareto, diagrama de Ishikawa, diagrama sequencial, análise de correlação e regressão, teste de hipóteses, planejamento de experimento, controle estatístico de processo, plano de ação, plano de controle, documentação e padronização (ANTONY, 2006; ANTONY et al., 2007b; ANTONY, KUMAR e MADU, 2005; BANUELAS et al., 2006; CHAKRABARTY e TAN, 2007; CONKLIN, 2004; ECKES, 2001; HAHN, DOGANAKSOY e STANARD, 2001; MADER, 2005; MAHANTI e ANTONY, 2005; MUNRO, 2000; PANDE, NEUMAN e CAVANAGH, 2001; RAISINGHANI et al., 2005; ROTONDARO, 2002; SNEE, 2003a).

A condução dos projetos Seis Sigma é atribuída a pessoas com um perfil próprio para a intervenção: os *Champions* e os *Belts*, nomes originais da iniciativa Seis Sigma (INGLE e ROE, 2001; LEE-MORTIMER, 2006a). Os *Champions* são líderes organizacionais, os patrocinadores que lideram a iniciativa Seis Sigma. Os *Belts* são classificados em *Master Black Belts*, *Black Belts* e *Green Belts*. Os *Master Black Belts* são líderes em gestão da qualidade, desempenhando um papel estratégico e gerencial frente aos projetos Seis Sigma. Os *Black Belts* são gerentes que atuam no nível operacional, liderando um certo número de projetos Seis Sigma específicos. Os *Green Belts* são pessoas que atuam no nível operacional, executando comumente apenas um projeto Seis Sigma específico de cada vez (HAIKONEN, SAVOLAINEN e JARVINEN, 2004).

## 2.2 EVIDENCIAÇÃO E EXPLORAÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA

A subseção 2.1 expôs uma síntese do referencial teórico sobre a iniciativa Seis Sigma. Já a subseção 2.2 apresenta pesquisas bibliográficas básicas para, respectivamente, evidenciar e explorar o problema de pesquisa. A Figura 4 traz uma esquematização que mostra como as pesquisas bibliográficas básicas foram conduzidas: por primeiro a varredura horizontal e por segundo a varredura vertical. A Figura 5 traz as características de cada pesquisa bibliográfica básica conduzida para evidenciar e explorar o problema de pesquisa. Os conceitos teóricos básicos de varredura horizontal e vertical estão em Miguel (2010).

Na varredura horizontal, subseção 2.2.1, o problema de pesquisa foi evidenciado, identificando-se o tema específico: seleção de projetos Seis Sigma. Após a identificação do tema, realizou-se a varredura vertical, subseção 2.2.2, onde o problema de pesquisa foi explorado. Na varredura vertical foram utilizadas palavras-chaves mais restritivas, sendo abordado um maior número de portais de pesquisas, quando comparado à varredura horizontal.

Figura 4 – Evidenciação e exploração do problema de pesquisa.

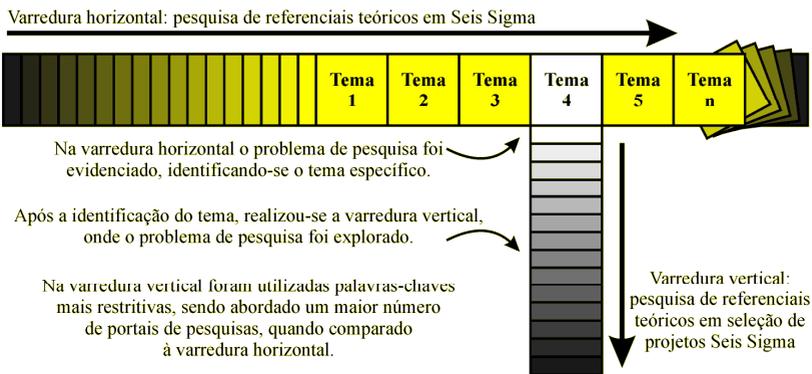
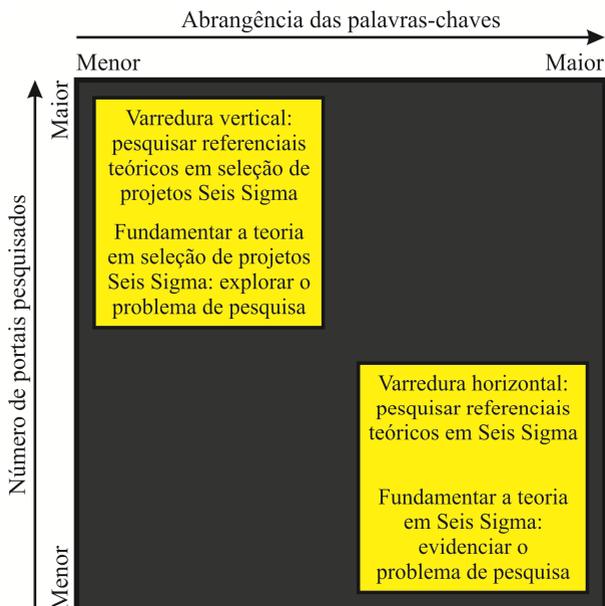


Figura 5 – Procedimentos de identificação do problema de pesquisa.



### 2.2.1 Varredura horizontal: pesquisa bibliográfica em Seis Sigma

A varredura horizontal consistiu no desenvolvimento de uma pesquisa bibliográfica com o objetivo de encontrar uma oportunidade de pesquisa na fronteira do conhecimento do tema Seis Sigma. O procedimento técnico utilizado – pesquisa bibliográfica – é definido em Gil (2002).

Foi elaborado um plano para a coleta dos referenciais teóricos, sendo utilizados principalmente livros e artigos científicos como fontes capazes de fornecer respostas à solução do problema. Os livros foram identificados em teses disponíveis no Banco de Teses da Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), tendo sido consultados aqueles que mais apareceram nos referenciais sobre Seis Sigma. Os artigos foram identificados no Portal de Periódicos Capes, sendo consultados aqueles que apresentaram as palavras Seis Sigma no título e que estavam disponíveis para as universidades federais brasileiras (que não necessitavam de pagamento extra). Os detalhes dos

parâmetros utilizados na busca de artigos publicados em periódicos são expostos no Quadro 1.

Quadro 1 – Parâmetros de busca de artigos publicados em periódicos.

<b>Parâmetro considerado</b>	<b>Entradas e saídas por parâmetro</b>
Objetivo da varredura horizontal	Encontrar uma oportunidade de pesquisa na fronteira do conhecimento do tema Seis Sigma.
Página virtual pela qual se procedeu com a busca	1. Emerald ( <a href="http://www.emeraldinsight.com/">http://www.emeraldinsight.com/</a> ) 2. WilsonWeb ( <a href="http://www.hwwilson.com/">http://www.hwwilson.com/</a> )
Ponto de acesso à página virtual	Universidade Federal de Santa Catarina Universidade Federal de Santa Maria
Área do conhecimento da base de busca	1. Engenharias e Ciências Sociais Aplicadas 2. Ciências Sociais Aplicadas
Base de busca específica considerada	1. Emerald 2. WilsonWeb (restrito ao periódico Quality Progress)
Modo de busca	1. Busca avançada em <i>journals</i> 2. Busca avançada
Período no qual se procedeu com a busca	1. De 27/10/08 a 28/09/09 2. De 28/10/08 a 28/09/09
Número total de atualização da pesquisa	1. 17 vezes 2. 17 vezes
Palavra e campo considerados na busca	1. Palavras <i>Six Sigma</i> (restrito ao campo <i>article title</i> ) 2. Palavras <i>Six Sigma</i> (restrito ao campo <i>title</i> )
Parâmetros adicionais de entrada	1. Publicações entre os anos de 2000 e 2009 2. Publicações entre os anos de 2000 e 2009
Parâmetros adicionais de entrada	1. Todos os tipos de estudos ( <i>all types</i> ) 2. Todos os tipos de documentos ( <i>all</i> )
Parâmetros adicionais de entrada	1. Inclui <i>EarlyCite Articles</i> e <i>Emerald Backfiles</i> 2. Inclui apenas textos completos ( <i>full text</i> )
Resultado da busca após seleção dos artigos mais relevantes para o objetivo	141 artigos que não necessitam de pagamento extra

Cabe ressaltar que os resultados da pesquisa bibliográfica apresentados nesta subseção referem-se a todas as atualizações de busca de referenciais teóricos realizados. No total a pesquisa foi atualizada 17 vezes sendo a última atualização em 28 de setembro de 2009.

Como resultado da pesquisa bibliográfica (varredura horizontal) foi possível identificar 167 referenciais, destes: 141 são artigos publicados em periódicos, 23 são livros e, 3 são outras referenciais. Os três outros referenciais não foram identificados no Banco de Teses da Capes ou no Portal de Periódicos Capes. Trata-se de referenciais chaves para o entendimento do problema de pesquisa, e por isto, foram incluídos na análise bibliográfica. Os três outros referenciais são: 1. Roos (2009) dissertação de mestrado do doutorando autor desta tese; 2. Pyzdek (2000) página virtual que pode ser identificada no livro de

Pyzdek (2003); 3. Zinkgraf (2000) artigo publicado em evento que pode ser identificado na dissertação de Roos (2009).

A Figura 6 mostra as 167 referências estratificadas por ano de publicação. A Tabela 3 mostra as 167 referências estratificadas por tipo de fonte.

Figura 6 – Número de referências estratificado por ano de publicação.

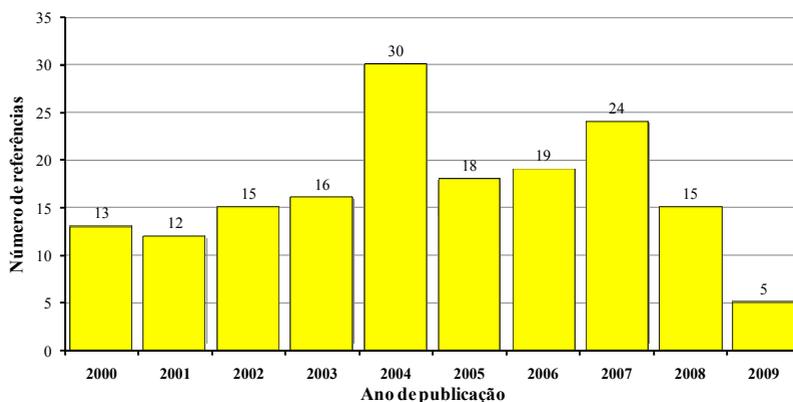


Tabela 3 – Número de referências estratificado por tipo de fonte.

Tipo de Referência	Frequência	%	% Acumulada
Artigo publicado em periódico	141	84,4	84,4
Livro publicado em português	16	9,6	94,0
Livro publicado em inglês	7	4,2	98,2
Artigo publicado em evento	1	0,6	98,8
Tese e dissertação	1	0,6	99,4
Outros	1	0,6	100
<b>Total</b>	<b>167</b>	<b>100</b>	

Verifica-se como ponto crítico principal desta pesquisa bibliográfica o fato das referências estarem limitadas de janeiro do ano de 2000 até setembro do ano de 2009. No entanto, isto é justificável, visto que a varredura horizontal não prevê atualização durante o período de desenvolvimento da tese como um todo, pelo contrário, a varredura horizontal é apenas o primeiro procedimento da tese para encontrar-se um problema de pesquisa. Já a varredura vertical precisa ser atualizada durante todo o período de desenvolvimento da tese. Outros pontos críticos que também podem ser citados para a pesquisa bibliográfica

realizada (varredura horizontal) são: 1. Pequeno número de artigos publicados em eventos; 2. Ausência de teses.

Uma síntese do referencial teórico sobre Seis Sigma foi compilada na sequência, Quadros 2, 3 e 4 apresentam a relação de assuntos e respectivas referenciais teóricos.

Quadro 2 – Relação de assuntos e respectivos referenciais teóricos.

<b>Assunto</b>	<b>Referenciais teóricos</b>		
Referencial sobre definições de Seis Sigma	Andersson, Eriksson e Torstenson (2006) Antony (2007) Antony e Bañuelas (2002) Antony e Coronado (2001) Antony et al. (2007a) Bendell (2006) Breyfogle III (2002) Buch e Tolentino (2006a) Carnell (2007) Carvalho e Paladini (2006) Chakrabarty e Tan (2007) Corrêa (2003) Costa, Epprecht, Carpinetti (2004) Crom (2000) Dahlgaard e Dahlgaard-Park (2006) Davis, Aquilano e Chase (2001) Eckes (2001)	Edgeman e Bigio (2004) Elliott (2004) Godfrey (2002) Goodman e Theuerkauf (2005) Gutiérrez, Lloréns-Montes e Sánchez (2009) Han e Lee (2002) Harrison (2005) Holtz e Campbell (2004) Hutchins (2000) Kumar et al. (2007) Mahanti e Antony (2005) Maleyeff e Krayenvenger (2004) Mast e Bisgaard (2007) McAdam e Lafferty (2004) McCarty e Fisher (2007) Mellat-Parast, Jones e Adams (2007) Mitra (2004)	Näslund (2008) O'Neill e Duvall (2005) Pande, Neuman e Cavanagh (2000) Parody e Voelkel (2006) Pestorius (2007) Phillips-Donaldson (2003) Revere, Black e Huq (2004) Rodrigues (2004) Rotondaro (2002) Sekhar e Mahanti (2006) Senapati (2004) Slack, Chambers e Johnston (2002) Snee (2004) Thevnnin (2004) Thomas, Barton e Byard (2008) Treichler et al. (2002) Tylutki e Fox (2002)
Referencial sobre os projetos Seis Sigma	Antony (2006) Antony et al. (2007a) Bañuelas e Antony (2003) Bañuelas et al. (2006) Buch e Tolentino (2006b) Carvalho e Paladini (2006) Coronado e Antony (2002) Eckes (2001)	Esimai (2005) Ingle e Roe (2001) Kumar et al. (2007) Little (2003) Lucas (2002) Mader (2004) Mader (2007) Miguel e Andrietta (2009)	Pande, Neuman e Cavanagh (2001) Pfeifer, Reissiger e Canales (2004) Rotondaro (2002) Snee (2001) Voelkel (2005)
Referencial sobre a abordagem estratégica do Seis Sigma	Antony (2006) Antony et al. (2007b) Arnheiter e Maleyeff (2005) Byrne, Lubowe e Blitz (2007) Camgoz-Akdag (2007) Carvalho e Paladini (2006) Dahlgaard e Dahlgaard-Park (2006)	Holtz e Campbell (2004) Ingle e Roe (2001) Kumar et al. (2008) Lochner (2005) Lucas (2002) Mellat-Parast, Jones e Adams (2007) Motwani, Kumar e Antony (2004)	Raisinghani et al. (2005) Reidenbach e Goeke (2007) Rodrigues (2004) Rotondaro (2002) Thevnnin (2004) Thomas e Barton (2006) Wessel e Burcher (2004)

Quadro 3 – Relação de assuntos e respectivos referenciais teóricos.

Assunto	Referenciais teóricos		
Referencial sobre ferramentas de auxílio ao Seis Sigma	Antony (2004a) Antony (2006) Antony e Bañuelas (2002) Antony et al. (2007b) Antony, Kumar e Madu (2005) Bañuelas et al. (2006)	Chakrabarty e Tan (2007) Conklin (2004) Eckes (2001) Hahn, Doganaksoy e Stanard (2001) Kumar, Strandlund e Thomas (2008) Mader (2005)	Mahanti e Antony (2005) Munro (2000) Pande, Neuman e Cavanagh (2001) Raisinghani et al. (2005) Rotondaro (2002) Snee (2003a)
Referencial sobre capacitação e aprendizagem no Seis Sigma	Antony e Bañuelas (2002) Buch e Tolentino (2006a) Buch e Tolentino (2006b) Coronado e Antony (2002) Eckes (2001) Elliott (2004)	Hahn, Doganaksoy e Stanard (2001) Henderson e Evans (2000) Kendall e Fulenwider (2000) Lucas (2002) Mader (2003) Mahanti e Antony (2005)	McAdam e Lafferty (2004) Motwani, Kumar e Antony (2004) Pande, Neuman e Cavanagh (2001) Rotondaro (2002) Savolainen e Haikonen (2007) Snee (2000)
Referencial sobre pessoas especializadas no Seis Sigma	Agarwal e Bajaj (2008) Antony et al. (2007b) Antony, Douglas e Antony (2007) Bendell (2006) Bisgaard e Mast (2006) Buch e Tolentino (2006a) Buch e Tolentino (2006b) Carnell (2004) Carvalho e Paladini (2006) Coronado e Antony (2002) Crom (2000)	Daniels (2007) Eckes (2001) Gross (2001) Haikonen, Savolainen e Järvinen (2004) Henderson e Evans (2000) Ingle e Roe (2001) Lee-Mortimer (2006a) Lochner (2005) Mader (2007) Mader (2008a)	Mader (2008b) Miguel e Andrietta (2009) Milivojevic (2006) Munro (2000) Pande, Neuman e Cavanagh (2001) Pandey (2007) Rodrigues (2004) Rotondaro (2002) Snee (2003b)
Referencial sobre resultados organizacionais positivos com o Seis Sigma	Antony (2006) Antony (2008b) Antony e Bañuelas (2002) Antony e Fergusson (2004) Antony et al. (2007a) Antony et al. (2007b) Bañuelas e Antony (2003) Black e Revere (2006) Byrne, Lubowe e Blitz (2007) Cheng (2008)	Coronado e Antony (2002) Dahlgard e Dahlgard-Park (2006) Eckes (2001) Ehie e Sheu (2005) Han e Lee (2002) Henderson e Evans (2000) Holtz e Campbell (2004) Hong e Goh (2003) Johnson (2005) Knowles, Johnson e Warwood (2004)	Kumar et al. (2008) Motwani, Kumar e Antony (2004) Pande, Neuman e Cavanagh (2001) Patton (2005) Pfeifer, Reissiger e Canales (2004) Raisinghani et al. (2005) Revere, Black e Huq (2004) Rotondaro (2002) Sehwill e DeYong (2003)
Referencial sobre os benefícios com o Seis Sigma	Antony (2004a) Antony (2006) Antony (2008b) Antony e Fergusson (2004) Antony et al. (2007a) Antony et al. (2007b) Antony, Kumar e Madu (2005)	Bisgaard e Freiesleben (2004) Black e Revere (2006) Chakrabarty e Tan (2007) Eckes (2001) Holtz e Campbell (2004)	Hong e Goh (2003) Lee-Mortimer (2007) Miguel e Andrietta (2009) Pande, Neuman e Cavanagh (2001) Rotondaro (2002)
Referencial sobre medição de desempenho no Seis Sigma	Antony (2004a) Antony (2006) Antony, Kumar e Madu (2005) Black e Revere (2006) Breyfogle III (2002) Breyfogle III e Meadows (2001)	Carvalho e Paladini (2006) Conklin (2004) Eckes (2001) Esimai (2005) Gnibus (2000) Goodman e Theuerkauf (2005)	Harry (2000b) Knowles, Johnson e Warwood (2004) Lucas (2002) Pande, Neuman e Cavanagh (2001) Rotondaro (2002)

Quadro 4 – Relação de assuntos e respectivos referenciais teóricos.

Assunto	Referenciais teóricos		
Referencial sobre o comprometimento da liderança no Seis Sigma	Antony e Coronado (2001) Antony et al. (2007a) Buch e Tolentino (2006a) Buch e Tolentino (2006b) Carvalho e Paladini (2006) Coronado e Antony (2002)	Eckes (2001) Gutiérrez, Lloréns-Montes e Sánchez (2009) Haikonen, Savolainen e Järvinen (2004) Kuei e Madu (2003)	Lochner (2005) McCarty e Fisher (2007) Munro (2000) Rotondaro (2002) Smith (2003)
Referencial sobre a abordagem estatística do Seis Sigma	Carvalho e Paladini (2006) Eckes (2001) Elliott (2004) Freiesleben (2006) Han e Lee (2002) Harry (2000b) Hong e Goh (2003)	Locher (2007) Maleyeff e Krayenvenger (2004) Mitra (2004) Pande, Neuman e Cavanagh (2001) Rodrigues (2004)	Rotondaro (2002) Rudisill e Druley (2004) Snee (2000) Snee (2003a) Tannock, Balogun e Hawisa (2007) Voelkel (2004)
Referencial sobre os métodos Seis Sigma	Andersson, Eriksson e Torstenson (2006) Antony (2002) Antony et al. (2007a) Bañuelas e Antony (2003) Bañuelas e Antony (2004) Batalha (2008) Black e Revere (2006) Byrne, Lubowe e Blitz (2007) Carvalho e Paladini (2006) Chakrabarty e Tan (2007) Cheng (2008) Dahlgaard e Dahlgaard-Park (2006) Daniels (2007) Eckes (2001) Ehie e Sheu (2005) Goh e Xie (2004) Hahn, Doganaksoy e Stanard (2001) Haikonen, Savolainen e Järvinen (2004) Harry (2000a)	Hensley e Dobie (2005) Holtz e Campbell (2004) Hong e Goh (2003) Jiang, Shiu e Tu (2007) Knowles, Johnson e Warwood (2004) Kuei e Madu (2003) Kumar, Wolfe e Wolfe (2008) Lee-Mortimer (2006a) Lynch, Bertolino e Cloutier (2003) Mader (2002) Mader (2003) Mader (2004) Mader (2005) Mader (2007) Mader (2008a) Mader (2008b) Mahanti e Antony (2005) Mast e Bisgaard (2007) McCarty e Fisher (2007) Mellat-Parast, Jones e Adams (2007)	Mitra (2004) Nave (2002) Neuscheler-Fritsch e Norris (2001) Pande, Neuman e Cavanagh (2001) Pandey (2007) Pfeifer, Reissiger e Canales (2004) Rodrigues (2004) Rotondaro (2002) Sekhar e Mahanti (2006) Senapati (2004) Senturk et al. (2006) Setijono (2008) Snee (2005) Tannock, Balogun e Hawisa (2007) Thomas e Barton (2006) Thomas, Barton e Chuke-Okafor (2009) Treichler et al. (2002) Wessel e Burcher (2004) Yang et al. (2007)
Referencial sobre o futuro do Seis Sigma	Antony (2004b) Antony (2007) Antony (2008a) Antony et al. (2007a)	Bisgaard e Mast (2006) Eckes (2001) Edgeman e Bigio (2004) Johnson (2005)	Pande, Neuman e Cavanagh (2001) Rotondaro (2002) Watson (2000)
Referencial sobre estudos de caso com o Seis Sigma	Agarwal e Bajaj (2008) Antony e Fergusson (2004) Byrne, Lubowe e Blitz (2007) Caldwell, Brexler e Gillem (2005) Camgoz-Akdag (2007) Chakrabarty e Tan (2007) Cheng (2008) Daniels (2007) Eckes (2001) Hensley e Dobie (2005)	Holtz e Campbell (2004) Johnson (2005) Ehie e Sheu (2005) Haikonen, Savolainen e Järvinen (2004) Henderson e Evans (2000) Knowles, Johnson e Warwood (2004) Lee-Mortimer (2006b) Lee-Mortimer (2007) Maleyeff e Krayenvenger (2004)	Motwani, Kumar e Antony (2004) Nonthaleerak e Hendry (2008) Pandey (2007) Savolainen e Haikonen (2007) Sehwal e DeYong (2003) Smith (2003) Taner, Sezen e Antony (2007) Yang et al. (2007)
Referencial sobre as dificuldades e as limitações com o Seis Sigma	Antony (2006) Antony et al. (2007b) Bendell (2006) Chakrabarty e Tan (2007)	Hensley e Dobie (2005) Kumar et al. (2008) Pande, Neuman e Cavanagh (2001)	Pfeifer, Reissiger e Canales (2004) Rotondaro (2002)

Os quadros apresentaram a relação de referenciais teóricos com assuntos importantes sobre o tema Seis Sigma, como por exemplo: resultados organizacionais com a utilização do Seis Sigma, benefícios e limitações com a utilização do Seis Sigma, futuro do Seis Sigma, e estudos de caso com a utilização do Seis Sigma.

Com o estudo destes referenciais teóricos foi possível identificar uma lacuna na literatura qualificada, em específico, uma lacuna relacionada à seleção de projetos Seis Sigma. Assim identificou-se o problema de pesquisa, gênese desta tese: como selecionar projetos Seis Sigma de forma quantitativa e, ao mesmo tempo, sem a utilização de modelos matemáticos complexos? Cabe ressaltar que este problema de pesquisa será retomado na subseção seguinte (subseção 2.3). No entanto, antes disto, tem-se a varredura vertical.

### **2.2.2 Varredura vertical: pesquisa bibliográfica em seleção de projetos Seis Sigma**

A varredura vertical consistiu no desenvolvimento de uma pesquisa bibliográfica como o objetivo de explorar o problema de pesquisa definido anteriormente com a varredura horizontal. Aqui foi investigado como a literatura qualificada aborda a seleção e a priorização de projetos Seis Sigma. Mais uma vez, o procedimento técnico utilizado foi a pesquisa bibliográfica, definido em Gil (2002).

O plano para a coleta dos referenciais teóricos foi elaborado fundamentalmente visando à utilização de artigos científicos da literatura qualificada como fontes capazes de explorar o problema. Isto porque tal tipo de fonte é o mais apropriado para o desenvolvimento de uma pesquisa bibliográfica que inclua referências recentes e relevantes para o tema em questão. Assim, os artigos foram identificados no Portal de Periódicos Capes, sendo consultados aqueles que apresentaram relação com as palavras seleção de projetos Seis Sigma. Os detalhes dos parâmetros utilizados nesta busca de artigos publicados em periódicos são expostos no Quadro 5.

Como resultado da pesquisa bibliográfica (varredura vertical) foi possível identificar 28 referenciais, sendo todos artigos publicados em periódicos. Uma breve e inicial discussão sobre seleção de projetos Seis Sigma é apresentada nos parágrafos que seguem.

Quadro 5 – Parâmetros de busca de artigos publicados em periódicos.

<b>Parâmetro considerado</b>	<b>Entradas e saídas por parâmetro</b>
Objetivo da varredura vertical	Explorar o problema de pesquisa definido na fronteira do conhecimento do tema Seis Sigma.
Página virtual pela qual se procedeu com a busca	Portal de Periódicos Capes ( <a href="http://novo.periodicos.capes.gov.br/">http://novo.periodicos.capes.gov.br/</a> )
Ponto de acesso à página virtual	Universidade Federal de Santa Catarina Julius-Maximilians - Universität Würzburg
Área do conhecimento da base de busca	Todas pelo filtro engenharias
Base de busca específica considerada	1. ACM Digital Library; 2. ACS Journals Search; 3. Emerald Fulltext (Emerald); 4. IEEE Xplore; 5. IOPscience (Institute of Physics – IOP); 6. Nature (NPG); 7. Royal Society of Chemistry; 8. Science (AAAS); 9. ScienceDirect (Elsevier); 10. SpringerLink (MetaPress); 11. Wiley Online Library; 12. Scielo; 13. Web of Science
Modo de busca	Metabúscua direcionada pela busca avançada
Período no qual se procedeu com a busca	De 29/09/09 a 23/08/13
Número total de atualização da pesquisa	21 vezes
Palavra e campo considerados na busca	Palavras <i>Six Sigma project selection</i> (todos os campos) Palavras <i>Six Sigma project prioritization</i> (todos os campos)
Resultado da busca após seleção dos artigos mais relevantes para o objetivo	49 artigos que não necessitam de pagamento extra

Os resultados da pesquisa bibliográfica apresentados nesta subseção referem-se a todas as atualizações realizadas sobre o tema no período de desenvolvimento desta tese. No total foram realizadas 21 atualizações, sendo a última em 12 de junho de 2013.

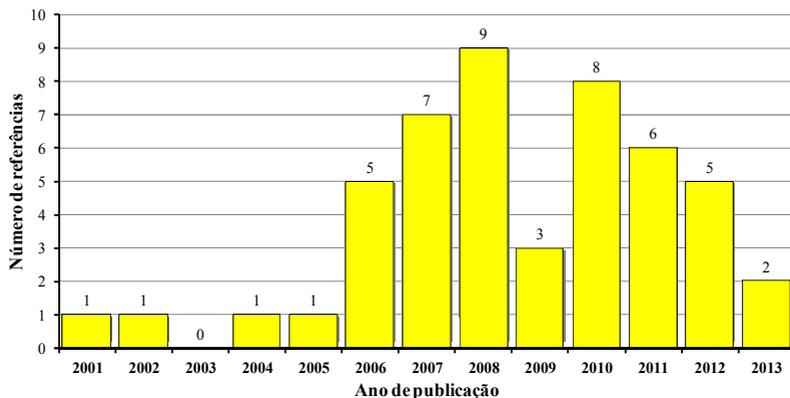
Obteve-se como resultado da pesquisa bibliográfica (varredura vertical) a identificação 49 referenciais, sendo todos artigos publicados na literatura qualificada. Cabe ressaltar que este número foi o resultado final após a seleção dos artigos que realmente traziam contribuições para esta tese. Ainda no contexto, neste período não foi possível localizar outras fontes que agregassem valor ao tema em estudo, como por exemplo, livros, teses, dissertações e artigos de eventos.

Na Figura 7 têm-se as 49 referências estratificadas por ano de publicação. Pode-se verificar que a maioria dos artigos utilizados nesta tese é de publicação recente para o tema seleção de projetos Seis Sigma.

Na sequência estão apresentados os resultados: uma síntese do referencial teórico sobre seleção e priorização de projetos Seis Sigma, sendo elaborada uma relação de referenciais teóricos com assuntos importantes sobre o tema, como por exemplo: referencial sobre definições de seleção de projetos Seis Sigma, referencial sobre a

abordagem estratégica na seleção de projetos Seis Sigma, referencial sobre os métodos para a seleção de projetos Seis Sigma, referencial sobre as dificuldades e as limitações na seleção de projetos Seis Sigma, referencial sobre estudos de caso em seleção de projetos Seis Sigma. Os Quadros 6 e 7 apresentam a relação de assuntos e respectivas referências.

Figura 7 – Número de referências estratificado por ano de publicação.



Quadro 6 – Relação de assuntos e respectivos referenciais teóricos.

Assunto	Referenciais teóricos		
Referencial sobre definições de seleção de projetos Seis Sigma	Aboelmaged (2010)	Hsieh, Huang e Wang (2012)	Padhy e Sahu (2011)
	Akpolat e Xu (2007)	Kahramam e Büyükoçkan (2008)	Ray e Das (2010)
	Antony (2006)	Kahramam e Büyükoçkan (2008)	Saghaei e Didehkhani (2011)
	Antony (2012)	Kindi (2011)	Savolainen e Haikonen (2007)
	Antony e Banuelas (2002)	Kornfeld e Kara (2013)	Shanmugaraja, Nataraj e Gunasekaran (2012)
	Antony et al. (2007)	Kumar et al. (2009)	Sharma e Chetiya (2010)
	Banuelas (2006)	Kumar, Antony e Cho (2009)	Sharma e Chetiya (2012)
	Banuelas et al. (2006)	Marques et al. (2013)	Su e Chou (2008)
	Bilgen e Sen (2012)	Padhy e Sahu (2011)	Tijahjono et al. (2010)
	Büyükoçkan e Öztürkcan (2010)	Ray e Das (2010)	Yang e Hsieh (2009)
Chao e Chia (2008)			
Referencial sobre a abordagem estratégica na seleção de projetos Seis Sigma	Antony (2004)	Hsieh, Huang e Wang (2012)	Kumar, Antony e Cho (2009)
	Antony (2006)	Kahramam e Büyükoçkan (2008)	Kumi e Morrow (2006)
	Antony e Banuelas (2002)	Kumar et al. (2008)	Kwak e Anbari (2006)
	Antony et al. (2007)	Kumar et al. (2009)	Su e Chou (2008)
	Bilgen e Sen (2012)		Yang e Hsieh (2009)

Quadro 7 – Relação de assuntos e respectivos referenciais teóricos.

<b>Assunto</b>	<b>Referenciais teóricos</b>		
Referencial sobre o comprometimento da liderança na seleção de projetos Seis Sigma	Antony (2006) Antony (2012) Antony e Banuelas (2002) Antony et al. (2007) Antony, Kumar e Banuelas (2005)	Banuelas (2006) Brun (2008) Hsieh, Huang e Wang (2012) Kwak e Anbari (2006)	Marques et al. (2013) Savolainen e Haikonen (2007)
Referencial sobre a abordagem estatística na seleção de projetos Seis Sigma	Antony (2006) Antony e Banuelas (2002) Antony et al. (2007) Antony, Kumar e Banuelas (2005) Banuelas et al. (2006) Büyükoçkan e Öztürkcan (2010)	Chao e Chia (2008) Kahramam e Büyükoçkan (2008) Kindi (2011) Kumar et al. (2007) Kumar et al. (2008) Kumar, Antony e Cho (2009)	Padhy e Sahu (2011) Saghaei e Didehkhani (2011) Shanmugaraja, Nataraj e Gunasekaran (2012) Sharma e Chetiya (2010) Sharma e Chetiya (2012) Tijahjono et al. (2010) Yang e Hsieh (2009)
Referencial sobre os métodos para a seleção de projetos Seis Sigma	Aboelimged (2010) Antony e Banuelas (2002) Antony et al. (2007) Büyükoçkan e Öztürkcan (2010) Chao e Chia (2008) Hsieh, Huang e Wang (2012)	Kahramam e Büyükoçkan (2008) Kindi (2011) Kornfeld e Kara (2013) Kumar et al. (2007) Kumar et al. (2008) Kumar et al. (2009) Ray e Das (2010)	Saghaei e Didehkhani (2011) Savolainen e Haikonen (2007) Sharma e Chetiya (2012) Su e Chou (2008) Tijahjono et al. (2010) Yang e Hsieh (2009)
Referencial sobre ferramentas de auxílio na seleção de projetos Seis Sigma	Antony (2006) Antony (2012) Antony e Banuelas (2002) Antony, Kumar e Banuelas (2005) Banuelas (2006) Banuelas et al. (2006)	Bilgen e sen (2012) Büyükoçkan e Öztürkcan (2010) Chao e Chia (2008) Kahramam e Büyükoçkan (2008) Kumar et al. (2008)	Kumar et al. (2009) Kwak e Anbari (2006) Shanmugaraja, Nataraj e Gunasekaran (2012) Su e Chou (2008) Yang e Hsieh (2009)
Referencial sobre os benefícios da correta seleção de projetos Seis Sigma	Akpolat e Xu (2007) Antony (2006) Antony e Banuelas (2002) Antony et al. (2007) Antony, Kumar e Banuelas (2005) Banuelas et al. (2006)	Bilgen e Sen (2012) Chao e Chia (2008) Kahramam e Büyükoçkan (2008) Kumar et al. (2009) Kumar, Antony e Cho (2009)	Kwak e Anbari (2006) Ray e Das (2010) Shanmugaraja, Nataraj e Gunasekaran (2012) Su e Chou (2008) Tijahjono et al. (2010) Yang e Hsieh (2009)
Referencial sobre as dificuldades e as limitações na seleção de projetos Seis Sigma	Antony e Banuelas (2002) Antony et al. (2007) Antony (2012) Antony, Kumar e Banuelas (2005)	Büyükoçkan e Öztürkcan (2010) Brun (2008) Hsieh, Huang e Wang (2012) Kornfeld e Kara (2013)	Kumar et al. (2008) Kwak e Anbari (2006) Ray e Das (2010) Su e Chou (2008) Tijahjono et al. (2010) Yang e Hsieh (2009)
Referencial sobre estudos de caso em seleção de projetos Seis Sigma	Antony (2004) Antony (2012) Antony, Kumar e Banuelas (2005) Banuelas et al. (2006) Banuelas (2006) Bilgen e Sem (2012) Brun (2008) Chao e Chia (2008)	Hsieh, Huang e Wang (2012) Kindi (2011) Kornfeld e Kara (2013) Kumar et al. (2009) Kumar, Antony e Cho (2009) Kumi e morrow (2006) Marques et al. (2013) Padhy e Sahu (2011)	Ray e Das (2010) Saghaei e Didehkhani (2011) Savolainen e Haikonen (2007) Shanmugaraja, Nataraj e Gunasekaran (2012) Sharma e Chetiya (2010) Sharma e Chetiya (2012) Su e Chou (2008)

Após o estudo destes referenciais teóricos foi possível entender e explorar a lacuna teórica identificada na literatura qualificada. Na próxima subseção são apresentados trechos extraídos da literatura que exploram o problema de pesquisa relacionado ao tema seleção e priorização de projetos Seis Sigma.

## 2.3 OPORTUNIDADE DE PESQUISA IDENTIFICADA E QUE RESPALDA ESTE TRABALHO

### 2.3.1 Definições em seleção de projetos Seis Sigma

A seleção de projetos é o processo de avaliação de projetos individuais ou grupos, escolhendo-se pela implementação de um ou um conjunto de projetos, para que os objetivos da organização sejam alcançados (PADHY e SAHU, 2011; MARQUES et al., 2013).

Na literatura consultada para esta tese foi possível verificar que alguns autores apresentam métodos de seleção de projetos Seis Sigma. Por exemplo, em Banuelas (2006) alguns métodos são listados: 1. *Pareto priority index* (PPI), *analytic hierarchy process* (AHP), *quality function deployment* (QFD), *theory of constraints* (TOC) (PYZDEK, 2000; PYZDEK, 2003); 2. *Project assessment matrix* (BREYFOGLE, CUPELLO e MEADWS, 2001); 3. *Quality function deployment* (QFD) (PANDE, NEUMAN e CAVANAGH, 2001); 4. *Project selection matrix* (KELLY, 2002); 5. *Project ranking matrix* (ADAMS, GUPTA e WILSON, 2003); 6. *Pareto analysis* (LARSON, 2003); 7. *Reviewing data on potential projects against specific criteria* (DE FEO e BARNARD); 8. *Analytic hierarchy process* (AHP) (DINESH KUMAR et al., 2006).

Em Kahraman e Büyüközcan (2008) são utilizados duas abordagens de programação que foram úteis para solucionar o problema da seleção de projetos Seis Sigma, a AHP (*Analytic hierarchy process*) e a programação de objetivos. Para os autores a incerteza e a imprecisão na declaração dos objetivos podem efetivamente ser controladas com a abordagem proposta no respectivo trabalho de pesquisa. Sharma e Chetiya (2010) tiveram como propósito realizar um estudo sobre a seleção de projetos Seis Sigma por meio de uma análise estatística descritiva empírica das variáveis selecionadas em 13 organizações indianas de manufatura com a colaboração técnica estrangeira.

Outro ponto evidenciado na literatura é que a maioria dos critérios de entrada usados na seleção de projetos Seis Sigma são: custos do projeto, duração do projeto, número de *Black e Green Belts*; e dos

critérios de saída são: satisfação do consumidor, impacto na estratégia organizacional, melhoria no nível sigma, impacto financeiro (impacto no custo da falta de qualidade - COPQ), crescimento da produtividade (KUMAR et al., 2007). A maioria das entradas e das saídas é probabilística por natureza (KUMAR et al., 2007).

Banuelas et al. (2006) coletou dados para seu estudo por meio de questionários tendo como objetivo identificar quais os critérios são considerados para a seleção de projetos Seis Sigma e como estes projetos Seis Sigma são selecionados nas organizações no Reino Unido. O resultado de seu estudo mostrou que as principais fontes para identificar projetos Seis Sigma são os clientes, funcionários e a extensão de novos projetos, dentre outros. Concluíram também com o estudo que a maioria das empresas utiliza mais de um método para identificar projetos potenciais (BANUELAS et al., 2006).

Neste mesmo sentido Antony e Banuelas (2002) tiveram como objetivo em seu projeto de pesquisa a determinação dos principais critérios para a implementação de projetos Seis Sigma na indústria do Reino Unido, por meio de um estudo piloto utilizando questionários para grandes empresas. A partir da análise identificaram que “compromisso e envolvimento de gestão” é o critério mais importante. Sharma e Chetiya (2012) realizaram um estudo com o objetivo de explorar e analisar os fatores críticos de sucesso para o Seis Sigma no contexto das organizações de fabricação indianas, e perceberam que a análise fatorial das organizações demonstra que o fator chave é uma combinação da capacidade das equipes de projeto para usar as ferramentas certas, gestão da inovação e criatividade na resolução de problemas.

Saghaei e Didekhani (2011) realizaram um trabalho com o objetivo de propor uma metodologia para a avaliação e a seleção de projetos Seis Sigma, desenvolvendo um modelo integrado para a avaliação e seleção de projetos Seis Sigma com base em ANFIS e programação objetiva difusa.

Shanmugaraja, Nataraj e Gunasekaran (2012) propôs em seu trabalho um modelo QFDMAIC (função qualidade – implantar – medir – analisar – melhorar – controlar) desenvolvido usando-se desdobramento da função qualidade e a abordagem Seis Sigma DMAIC para a identificação e a priorização dos projetos Seis Sigma. Padhy e Sahu (2011) propuseram uma metodologia de dois estágios: (i) análise de opções reais para avaliar o valor do projeto para melhorar a flexibilidade gerencial e, (ii) utilização de um modelo de programação linear para selecionar e programar uma carteira de projetos ideais, com

base nos objetivos e limitações da organização, completada por meio de um estudo de caso da indústria petroquímica.

De fato, a seleção de projetos é um fator chave para o sucesso da implementação da estratégia Seis Sigma e, portanto, trata-se de um forte argumento para justificar esta tese. A literatura qualificada apresenta resultados de pesquisas de campo que respaldam este argumento, como por exemplo, um trabalho recente realizado no Brasil: Miguel e Carvalho (2014) apontam duas organizações que consideram a seleção de projetos como um fator de sucesso para a implementação do Seis Sigma.

Com estes aspectos definidos e com o referencial teórico consultado foi possível identificar a oportunidade de pesquisa que respalda esta tese, conforme a subseção seguinte deste texto.

### **2.3.2 Oportunidade de pesquisa em seleção de projetos Seis Sigma**

Com o referencial teórico consultado foi possível identificar uma lacuna na teoria que aqui será visualizada como uma oportunidade de pesquisa na fronteira do conhecimento. Esta oportunidade de pesquisa é baseada em quatro citações que deram a sustentação teórica inicial para a tese desenvolvida.

A primeira citação está em uma publicação da época que esta tese foi iniciada: Kumar et al., 2008. Trata-se de um artigo escrito por: Maneesh Kumar, Jiju Antony, Christian N. Madu, Douglas C. Montgomery, Sung H. Park. A citação traduzida dos autores é apresentada na sequência.

Há uma escassez de literatura sobre seleção de projetos Seis Sigma, um tema que passa despercebido na maioria das organizações, sendo que existem diferentes técnicas ou métodos que podem ser utilizados para a seleção de projetos, por exemplo, *analytical hierarchy process* (AHP), *pugh matrix*, *failure mode and effect analysis* (FMEA), *quality function deployment* (QFD), *project prioritization matrix*, *fuzzy logic*, etc. Os resultados da pesquisa informal conduzida por Pande, Neuman e Cavanagh (2000) identificaram a seleção de projetos como a atividade mais crítica e mais ineficiente no desenvolvimento do Seis Sigma. O sucesso ou o fracasso do Seis Sigma em um processo de negócio depende da seleção de

projetos que possam ser concluídos dentro de um prazo razoável (4 à 6 meses) e que entreguem benefícios tangíveis (quantificáveis) ao negócio em termos financeiros ou satisfação do cliente (ANTONY, 2004a; ANTONY, 2004b). A identificação de projetos de alto impacto na fase inicial do planejamento irá resultar em avanço significativo em um curto prazo. Esta é outra área que precisa de uma atenção imediata para o desenvolvimento do Seis Sigma (KUMAR et al., 2008, p. 889).

Para reafirmar a existência da oportunidade de pesquisa, apresenta-se a segunda citação que está no artigo Antony (2006), publicado dois anos e meio antes do início desta tese. Jiju Antony em sua recente carreira de pesquisador publicou mais de 150 artigos e 5 livros nas áreas de Design of Experiments, Taguchi Methods, Six Sigma, Total Quality Management e Statistical Process Control. A citação traduzida do autor é apresentada na sequência.

A priorização de projetos em muitas empresas orientadas para os serviços ainda é baseada no julgamento subjetivo. Poucas ferramentas estão disponíveis para priorização de projetos, embora a efetividade na seleção dos projetos seja um dos fatores críticos de sucesso no desenvolvimento do Seis Sigma (ANTONY, 2006, p. 246).

Na terceira citação de Kumar, Antony e Cho (2009), tem-se a seguinte argumentação traduzida.

Surpreendentemente, a errônea seleção de projetos continua acontecendo mesmo nas organizações mais bem gerenciadas, podendo ter um enorme impacto e comprometer o sucesso e a credibilidade do programa Seis Sigma (KUMAR, ANTONY e CHO, 2009, p. 672).

A quarta citação está em Padhy e Sahu (2011), publicado há cerca de dois anos. Neste artigo tem-se nova argumentação conforme a tradução a seguir.

A seleção e priorização de projetos em muitas organizações ainda são baseadas em puro julgamento subjetivo (PADHY e SAHU, 2011).

Com esta literatura qualificada, fica evidente que a subjetividade é apontada como um problema na seleção de projetos Seis Sigma. Por outro lado, se na vida real, ou seja, se nas organizações se utiliza certo grau de subjetividade, talvez seja porque tal procedimento é inevitável. Talvez um meio termo entre subjetividade e objetividade seja uma solução adequada. Neste contexto estão focadas as investigações de campo desta tese, buscando-se identificar quais seriam as características adequadas para um modelo de seleção de projetos Seis Sigma.

De tal modo, a oportunidade de pesquisa em Seis Sigma ficou assim definida: *como selecionar projetos Seis Sigma de forma quantitativa e, ao mesmo tempo, sem a utilização de modelos matemáticos complexos?*

## 2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentada uma síntese do referencial teórico sobre o tema Seis Sigma, bem como duas pesquisas bibliográficas básicas para evidenciar e explorar o problema de pesquisa. Assim, o principal intuito foi subsidiar o entendimento do problema de pesquisa, que foi visualizado como uma oportunidade de pesquisa na fronteira do conhecimento. O estudo desta literatura também foi importante para subsidiar as questões de pesquisa dos estudos de campo desta tese. No próximo capítulo ter-se-á a exposição dos procedimentos metodológicos que serão utilizados para abordar os objetivos e metas deste trabalho de pesquisa.

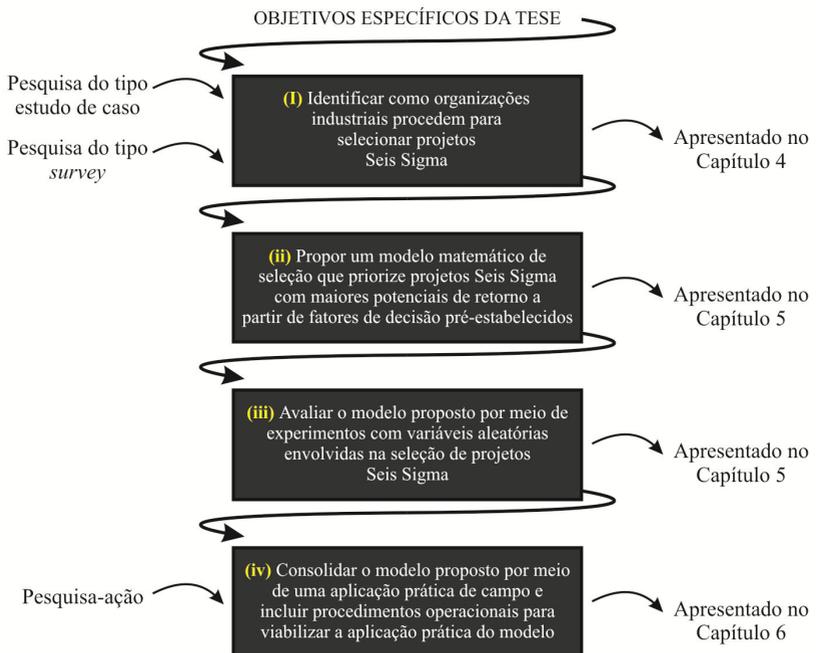


### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos desta pesquisa propõem uma dinâmica que permitiu a obtenção de resultados que atenderam o objetivo geral desta tese. No Quadro 8 é apresentada uma breve descrição das ações desenvolvidas em cada um dos objetivos específicos, facilitando assim, a compreensão das escolhas realizadas quanto às abordagens, aos métodos e aos procedimentos técnicos de pesquisa utilizados.

Na Figura 8 tem-se uma esquematização que relaciona os procedimentos técnicos de pesquisa com os objetivos específicos desta tese. O termo tese é definido por Müller e Cornelsen (2007), ABNT (2005), Serra Negra e Serra Negra (2004).

Figura 8 – Procedimentos metodológicos e objetivos específicos.



Esta pesquisa foi dividida em seis momentos. O primeiro consistiu na identificação e na formulação do problema de pesquisa, bem como, na definição dos objetivos e delimitações do trabalho para a

obtenção de resultados capazes de propor uma solução para o problema de pesquisa formulado.

Quadro 8 – Resumo das ações desenvolvidas em cada objetivo específico.

Objetivo específico	Descrição resumida das ações desenvolvidas
(i) Identificar como organizações industriais procedem para selecionar projetos Seis Sigma.	Este objetivo específico buscou identificar em estudos de campo como algumas organizações brasileiras e alemãs procedem para selecionar projetos Seis Sigma. Os dados coletados foram analisados qualitativamente, principalmente, por meio de comparações com o que é apresentado no referencial teórico sobre o tema. A conclusão parcial, a partir dos resultados, fundamentou a modelagem matemática prevista no segundo objetivo específico, principalmente, em relação às variáveis envolvidas.
(ii) Propor um modelo de seleção que priorize projetos Seis Sigma com maiores potenciais de retorno a partir de fatores de decisão pré-estabelecidos.	Com este objetivo específico buscou-se a proposição de um modelo de seleção de projetos Seis Sigma com maiores potenciais de retorno a partir de fatores de decisão pré-estabelecidos. As constatações de pesquisa obtidas no suporte teórico e no suporte prático foram consideradas aqui.
(iii) Avaliar o modelo proposto por meio de experimentos com variáveis aleatórias envolvidas na seleção de projetos Seis Sigma.	Neste objetivo específico o modelo proposto foi testado em simulações experimentais, a partir de um plano de experimentos de baixa complexidade. Algumas variáveis incluídas no modelo proposto fizeram parte do plano de experimentos, tendo sido analisadas as relações causais. A conclusão parcial, a partir da análise das variáveis e respectivos resultados, fundamentou a consolidação do modelo, conforme previsto no quarto objetivo específico.
(iv) Consolidar o modelo proposto por meio de uma aplicação prática de campo e incluir procedimentos operacionais para viabilizar a aplicação prática do modelo.	Por último, neste objetivo específico, avaliou-se o modelo proposto em uma aplicação prática de campo. Aqui se detectou a necessidade de algumas adequações no método pelo qual o modelo é implementado. Em outras palavras, consolidou-se não somente o modelo, mas também um método que auxilia na implementação do modelo. As conclusões parciais, assim, fundamentaram a conclusão final da pesquisa, subsidiando a tese a ser defendida.

O segundo momento consistiu na consolidação do suporte teórico sobre a iniciativa Seis Sigma e sobre seleção de projetos Seis Sigma. O resultado deste momento foi um dos subsídios para a proposição do modelo de seleção de projetos Seis Sigma, modelo este, que pretende ser a solução do problema de pesquisa.

O terceiro momento versou a obtenção do suporte prático para a proposição do modelo. De fato, este foi o subsídio mais importante para a proposição do modelo, pois foi quando se identificou algumas peculiaridades no contexto organizacional, em outras palavras, informações determinantes e fundamentais do cenário prático-aplicado da seleção de projetos Seis Sigma.

O quarto momento consistiu na proposição do modelo de seleção de projetos Seis Sigma. Aqui as informações obtidas no segundo e no terceiro momentos da pesquisa foram trabalhadas a fim de constituir a base para a proposição do modelo. A modelagem matemática foi utilizada para auxiliar no desenvolvimento do modelo.

O quinto momento consistiu na avaliação do modelo, utilizando como base, um estudo prático-aplicado. A avaliação do modelo teve adicionalmente o emprego de planos de experimento para auxiliar na conclusão sobre a avaliação do modelo.

O sexto momento compôs a conclusão da pesquisa, baseando-se na interpretação dos resultados realizada no quinto momento. Assim, finalizou-se esta tese concluindo-se sobre o modelo proposto.

### 3.1 CLASSIFICAÇÃO METODOLÓGICA DA PESQUISA

De modo geral, adotando-se as definições teóricas de Miguel (2010), Quadro 9, esta pesquisa é classificada: **(i)** quanto à natureza: aplicada, porque objetiva-se gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigidos à solução de um problema específico; **(ii)** quanto aos objetivos: pesquisa exploratória, pois trata-se de um tema contemporâneo e não consolidado na literatura (seleção de projetos Seis Sigma) em um contexto real (em organizações que implementam projetos Seis Sigma); **(iii)** quanto aos procedimentos técnicos: estudo de caso, *survey* e, pesquisa-ação; **(iv)** quanto à abordagem de pesquisa: qualitativa, pois a pesquisa não pode ser representada matematicamente; **(v)** quanto ao método de pesquisa: indutivo, porque partiu-se de questões particulares (estudos de campo abrangendo uma amostra) e buscou-se concluir questões gerais (um novo modelo de seleção de projetos Seis Sigma).

Quadro 9 – Classificações da pesquisa a ser desenvolvida.

A pesquisa quanto	Classificações em relação ao lineamento metodológico
à natureza	aplicada
aos objetivos	exploratória
aos procedimentos técnicos	estudo de caso; <i>survey</i> ; pesquisa-ação
à abordagem	quantitativa
ao método	indutiva

Com estas classificações em mente, apresentar-se-á agora, nas próximas três subseções, cada um dos procedimentos técnicos de pesquisa utilizados nesta tese.

### 3.2 PESQUISA DO TIPO ESTUDO DE CASO

No capítulo quatro desta tese está apresentado o suporte teórico da pesquisa desenvolvida, onde um dos procedimentos técnicos de pesquisa utilizados é a pesquisa do tipo estudo de caso. A literatura contemporânea e qualificada que aborda a seleção de projetos Seis Sigma não está consolidada e, de tal modo, baseando-se no objetivo deste trabalho, uma pesquisa do tipo estudo de caso foi necessária para explorar e elucidar um pouco melhor as características da seleção de projetos Seis Sigma em pesquisas de campo.

A pesquisa do tipo estudo de caso foi planejada e conduzida seguindo as definições e as orientações de Yin (2009). Procedeu-se inicialmente com o mapeamento da literatura, sendo elaboradas na sequência, as seguintes questões de pesquisa para o estudo de caso: **(i)** Como é realizada a seleção de projetos Seis Sigma? **(ii)** Quais são as variáveis críticas para esta seleção de projetos Seis Sigma? **(iii)** Por que são utilizadas estas variáveis críticas para esta seleção de projetos Seis Sigma? Note que a pesquisa do tipo estudo de caso é ideal para responder questões de pesquisa do tipo “como” e “por que”, conforme exposto em Barratt, Choi e Li (2011).

A unidade de análise foi definida com base em um critério determinante: ser um processo de seleção de projetos Seis Sigma. Por tratar-se de uma unidade de análise pouco comum, foi utilizada a amostragem de variação máxima para a seleção dos casos, conforme

definido em Gil (2009). Foram selecionadas quatro organizações que realizavam seleções de projetos Seis Sigma. Para a indicação das organizações com o perfil pretendido foram necessários os contatos pessoais do autor desta tese, em geral, engenheiros e executivos de diferentes organizações. Foi identificada uma série de organizações com o perfil desejado, mas apenas quatro concordaram em participar do estudo. De fato, os projetos Seis Sigma muitas vezes envolvem inovações, motivo pelo qual muitas organizações não permitiram que esta pesquisa fosse também conduzida nos respectivos cenários nestas organizações. Seleção de projetos Seis Sigma é um tema no qual os estudos de caso são difíceis de serem realizados.

De fato, quanto menor o número de casos abordados em uma pesquisa do tipo estudo de caso, menor a possível extensão das conclusões (EISENHARDT e GRAEBNER, 2007). Por outro lado, como exposto por Voss, Tsikriktsis e Frohlich (2002), quanto menor o número de casos, maior a oportunidade de detalhamento do estudo. Esta questão também foi estudada e discutida em um artigo recente e bastante interessante de Barratt, Choi e Li (2011), que expõem que o número de casos depende dos objetivos e dos temas em estudo.

Na sequência do estudo de caso desta tese, a pesquisa foi formalizada nas quatro organizações, tendo-se como ponto relevante, o estabelecimento dos projetos das pesquisas de campo. Foram identificados então, os meios para coleta e análise dos dados. Um protocolo de coleta de dados foi desenvolvido para facilitar o estudo das unidades de análise. No prosseguimento, as unidades de análise foram estudadas, tendo sido utilizadas três fontes de evidências: as análises documentais, as observações e as entrevistas. As principais fontes de evidência primária utilizadas foram: respostas de engenheiros e de executivos; dados e documentos dos bancos de dados. As principais fontes secundárias referem-se às observações dos processos de seleção de projetos Seis Sigma, bem como aos relatos de *Black e Green Belts*. A construção da base de dados foi realizada, com base nas evidências, em um armazenamento por unidade de análise. Para a análise das evidências foi utilizada a estratégia das descrições de caso (YIN, 2009). A síntese das principais características das unidades de análise será apresentada no quarto capítulo deste texto.

Para os estudos de caso têm-se os seguintes elementos: **(i)** o agente: um doutorando (autor deste trabalho) de um grupo de pesquisa brasileiro e funcionários das organizações onde as pesquisas foram desenvolvidas; **(ii)** o objeto: a ação foi aplicada sobre os processos de seleção de projetos Seis Sigma nas quatro unidades industriais; **(iii)** o

evento: condução de ciclos variados de coleta e análise de dados; **(iv)** o objetivo nos estudos de caso: responder as questões de pesquisa; **(v)** o campo: em quatro unidades industriais, sendo duas brasileiras e duas alemãs. O envolvimento do autor desta tese como agente de pesquisa se deu diretamente por meio do acompanhamento dos estudos em campo, tendo, portanto, coletados as evidências de pesquisa.

Assim, na fase que precedeu a finalização da pesquisa do tipo estudo de caso, os dados coletados foram analisados por triangulação de características relevantes para as questões de pesquisa. Aqui o mapeamento da literatura foi novamente considerado para propósitos de comparação. Por fim, elaborou-se um relatório de pesquisa com as conclusões pertinentes ao objetivo desta etapa da tese.

### 3.3 PESQUISA DO TIPO *SURVEY*

No mesmo contexto, no capítulo quatro desta tese, para complementar o suporte prático desta pesquisa, adotou-se como procedimento técnico, seguindo a tipologia apresentada em Gil (2002), a pesquisa do tipo levantamento ou *survey*. A pesquisa *survey* foi conduzida utilizando-se orientações contidas no trabalho de Forza (2002).

A pesquisa do tipo levantamento *survey* foi aplicada buscando subsídios que contribuíssem com o objetivo geral desta tese. A *survey* abordou uma amostra de organizações (que utilizam a iniciativa Seis Sigma) por meio da coleta de dados de forma individual, via questionário eletrônico. A amostra desta pesquisa é não probabilística, não casual, pois a escolha dos elementos que compõem a amostra não foi aleatória. Trata-se de uma amostra intencional, de 48 organizações, escolhida em um banco de dados de uma empresa sediada na cidade de São Paulo que ministra cursos de capacitação relacionados à estratégia Seis Sigma.

Nesta pesquisa foram encontradas dificuldades na investigação no que tange as taxas de retorno dos questionários. No total, foram utilizados três bancos de dados para identificar organizações que utilizam a estratégia Seis Sigma, mas apenas um banco de dados teve taxa de retorno satisfatório. Assim, outros pesquisadores podem utilizar a mesma estratégia para superar as dificuldades no que tange as taxas de retorno dos questionários ao se investigar temas relacionados à estratégia Seis Sigma.

Cabe ressaltar que mesmo tendo sido utilizadas estratégias para melhorar a taxa de retorno, o resultado não foi satisfatório. Diversas

foram as causas identificadas para as baixas taxas de retorno, cabendo destacar para os dois bancos de dados: (i) muitas das pessoas que estavam cadastradas como contatos nas organizações haviam trocado de função ou até mesmo de emprego; (ii) algumas organizações deixaram de utilizar a estratégia Seis Sigma. Estas causas mostram que os bancos de dados estavam desatualizados, isto é, mesmo em teoria sendo os melhores bancos de dados quando se pesquisa a estratégia Seis Sigma, são bancos de dados que pouco contribuíram para esta tese.

A estratégia utilizada então foi a de empregar um terceiro banco de dados, este sim, atualizado e pertencente a uma empresa que ministra regularmente cursos de capacitação nas organizações, mantendo contato contínuo com os profissionais que trabalham com a estratégia Seis Sigma nestas organizações. Com este terceiro banco de dados obteve-se uma taxa de retorno satisfatória: dos 129 questionários enviados, 48 foram retornados. A amostra utilizada nesta pesquisa, portanto, não busca generalizar os resultados para uma população, tratando-se de uma macrofase exploratória desta tese.

O instrumento de coleta de dados elaborado foi um questionário dividido em três blocos de questões: (i) definições da organização e do respondente; (ii) natureza dos dados; (iii) métodos de seleção de projetos Seis Sigma. Para a elaboração do questionário baseou-se no trabalho de Banuelas et al. (2006). O questionário foi hospedado de modo on-line na plataforma específica para este fim da empresa Google. Foram então enviados convites por e-mail para que os profissionais cadastrados no banco de dados acessassem e respondessem o questionário.

As respostas dos questionários foram diretamente tabuladas em planilhas eletrônicas do *software* Excel da empresa Microsoft. Foi utilizada inicialmente a estatística descritiva para analisar os resultados e, posteriormente, analisaram-se as relações entre as categorias de respostas utilizando o teste de independência do Qui-Quadrado, ver Ryan (2011). Este teste tem por propósito verificar se a frequência absoluta observada de uma variável é significativamente diferente da distribuição de frequência absoluta esperada. Trata-se de um teste não paramétrico, isto é, não depende de parâmetros populacionais, como média e variância. Os principais resultados são apresentados na quarto capítulo desta tese.

### 3.4 PESQUISA-AÇÃO

No capítulo seis desta tese, tem-se como procedimento técnico metodológico uma pesquisa-ação. Com os suportes teórico e prático

desta tese pode-se propor um modelo para selecionar projetos Seis Sigma e, assim, para avaliar a novo modelo tornou-se necessária uma implementação do modelo em um caso prático. Neste contexto, optou-se em utilizar-se a pesquisa-ação.

Para o planejamento e a condução da pesquisa-ação nesta tese foram utilizadas as orientações de Coghlan e Brannick (2010). Algumas recomendações extras foram adotadas segundo orientações de Mcniff e Whitehead (2011), French (2009), Thiollent (2009), Herr e Anderson (2005).

Inicialmente procedeu-se com um breve mapeamento da literatura para estabelecer as questões de investigação para a pesquisa-ação. As questões para a pesquisa-ação são: **(i)** O modelo proposto apresenta aplicabilidade? **(ii)** O modelo proporcionou a seleção de projetos Seis Sigma na prática? **(iii)** Quais são as conclusões avaliativas a partir da aplicação prática do modelo?

Na sequência, a unidade de análise foi definida para a pesquisa-ação com base em um critério determinante: ser um processo de seleção de projetos Seis Sigma. Pode-se notar que o critério é igual ao critério dos estudos de caso delineados nesta tese. Foram adotados os mesmos procedimentos dos estudos de caso desta tese para a indicação das organizações que atendessem ao critério. Uma organização foi selecionada para o estudo e assim, como apenas uma unidade de análise (um processo de seleção de projetos Seis Sigma) foi considerada, a pesquisa-ação deve ser considerada de viés piloto. Isto porque o número ideal de unidades de análise (casos) segue a mesma lógica da pesquisa do tipo estudo de caso. French (2009) reinterpreta alguns conceitos e destaca que a pesquisa-ação pertence à família das pesquisas do tipo estudo de caso e, de mesmo modo, está sujeita a algumas das críticas direcionadas às pesquisas de abordagem qualitativa e, especialmente, direcionadas às pesquisas do tipo estudo de caso.

Na subsequência, a pesquisa-ação foi formalizada na organização, tendo sido definidos os seguintes elementos: **(i)** o agente: um doutorando (autor deste trabalho) de um grupo de pesquisa brasileiro e funcionários da organização onde o trabalho foi desenvolvido; **(ii)** o objeto: a ação foi aplicada sobre um processo de seleção de projetos Seis Sigma em uma siderúrgica; **(iii)** o evento: condução de três ciclos de coleta e análise de dados; **(iv)** o objetivo da pesquisa-ação: avaliar o modelo proposto em um caso prático; **(v)** o campo: em uma unidade siderúrgica de uma organização privada de grande porte, entre os dez maiores grupos siderúrgicos do mundo. Aqui o envolvimento do autor desta tese como agente de pesquisa também se deu diretamente, tendo,

portanto, participado ativamente das ações práticas para implementar e avaliar o modelo proposto.

Procedeu-se então com o delineamento de um projeto de acordo com o objetivo da pesquisa-ação, que contemplou as estratégias de ação, os recursos, os cronogramas, entre outros. No decorrer, a implementação do projeto foi iniciada e os ciclos de coleta e análise dos dados foram sendo conduzidos. Foram utilizadas três fontes de evidências: as análises documentais, as observações e as entrevistas. No entanto, cabe destacar que o principal eixo norteador da pesquisa-ação foi método auxiliar para utilização do modelo proposto nesta tese, conforme capítulo 5 desta tese. A pesquisa-ação, com as respectivas fontes de evidência, será resumidamente apresentada na sexta seção desta tese. Por final, os resultados foram analisados e registrados em um relatório de pesquisa, respondendo as questões inicialmente propostas para a pesquisa-ação.

### 3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados de modo resumido os procedimentos metodológicos utilizados nesta tese. Esclarecer cada decisão metodológica é fundamental para o entendimento da arquitetura desta pesquisa, que pode ser replicada com o mesmo rigor metodológico e, provavelmente, podendo-se obter resultados semelhantes. No próximo capítulo tem-se o suporte prático desta tese para, juntamente com o suporte teórico, subsidiar a proposta do modelo objetivo geral desta tese.



## 4 SUPORTE PRÁTICO

Neste capítulo são apresentados subsídios procedentes de ambientes de aplicação prática da seleção de projetos Seis Sigma. São estudos de campo que objetivaram identificar como ocorrem as seleções de projetos Seis Sigma dentro das organizações. Este capítulo é de extrema importância, pois é a principal forma de sustentar a proposta de um modelo de seleção de projetos Seis Sigma, já que estes ambientes de aplicação prática podem ser considerados os laboratórios experimentais de onde foram coletadas informações para sustentar esta tese.

Deste modo, este capítulo foi dividido em subseções apresentando quatro estudos qualitativos de campo (estudos de caso) e um estudo quantitativo de campo (*survey*), conforme exposição anterior no capítulo dos procedimentos metodológicos. Estes são procedimentos utilizados aqui para aproximar a teoria da prática Seis Sigma, tendo como intuito subsidiar o desenvolvimento do modelo que é o objetivo geral desta tese.

### 4.1 ESTUDO QUALITATIVO DE CAMPO 1

Este estudo qualitativo de campo foi realizado em uma unidade siderúrgica brasileira de uma organização privada de grande porte, entre os dez maiores grupos siderúrgicos do mundo. As unidades do grupo siderúrgico somam uma capacidade de produção instalada superior a 25 milhões de toneladas por ano. Esta pesquisa do tipo estudo de caso evidenciou um processo de seleção de projetos Seis Sigma puramente baseado na opinião das pessoas envolvidas no processo, isto é, um processo de seleção simples e baseado em subjetividade.

#### 4.1.1 Objetivo do estudo qualitativo de campo 1

O objetivo deste estudo qualitativo de campo é apresentar o processo de seleção de projetos Seis Sigma adotado no caso prático, bem como enumerar as variáveis críticas consideradas neste processo. Adicionalmente, como contribuição teórica, para entender um pouco melhor um projeto Seis Sigma como um todo, objetivou-se implementar um projeto Seis Sigma do início até sua conclusão.

#### 4.1.2 Processo de seleção e variáveis críticas do estudo 1

O processo de seleção de projetos Seis Sigma utilizado neste caso prático é puramente baseado na experiência prática das pessoas, podendo ser descrito resumidamente no Quadro 10.

Quadro 10 – Descrição resumida do processo de seleção do estudo 1.

Nº Atividade	
1	Reunião com um Diretor e quatro <i>Green Belts</i>
1.1	Identificação dos projetos candidatos a participar da seleção
1.2	Identificação das variáveis críticas para a seleção a partir da análise dos parâmetros principais (de maior importância) de cada projeto Seis Sigma candidato
1.3	Discussão dos parâmetros de cada projeto candidato de acordo com as variáveis críticas
2	Reunião com um Diretor e quatro <i>Green Belts</i>
2.1	Decisão pelo projeto baseando-se na experiência prática das pessoas e levando-se em consideração os parâmetros discutidos

No processo de seleção seis projetos Seis Sigma foram analisados tendo sido selecionado um projeto a partir da discussão em reunião de variáveis de cada projeto. De fato, no estudo de campo pode-se perceber a importância das variáveis críticas no processo de seleção e, justamente por esta razão, buscou-se um melhor entendimento perante as pessoas que participaram do processo.

A explicação em utilizar determinadas variáveis críticas na seleção do projeto Seis Sigma foi sucintamente apresentada e justificada sob o ponto de vista do grupo de pessoas que desenvolveu a seleção, conforme segue.

**a)** Custos do projeto: importante, mas deve ser considerado como um critério de menor peso, visto que, dependendo dos recursos necessários para solucionar um problema, os custos fixos e variáveis podem ter acréscimos consideráveis, ou vice versa.

**b)** Duração do projeto: relativamente importante, devendo-se atribuir menor peso a este critério. De fato qualquer projeto está sujeito às variações nos tempos de execução.

**c)** Número de *Black* e *Green Belts*: pouco importante, devendo-se atribuir peso nulo ou muito baixo a este critério. Como são recursos essenciais para o sucesso do projeto, o número de *Black* e *Green Belts* torna-se fixo de acordo com as necessidades do projeto, isto é, alterar o número desta variável crítica não é uma prática indicada.

**d)** Satisfação do consumidor: importante, devendo-se atribuir peso médio alto a este critério. De fato, a satisfação do consumidor é de extrema importância, mas em projetos Seis Sigma, normalmente, é difícil avaliar a relação direta do projeto com a satisfação do consumidor. Medir a satisfação do consumidor não é uma tarefa fácil.

**e)** Impacto na estratégia organizacional: importante, cabendo atribuir-se peso médio a este critério. Evidentemente deve-se manter o alinhamento dos projetos com a estratégia organizacional, mas em muitos casos, é difícil avaliar a relação direta do projeto com a estratégia organizacional. Os esforços para se avaliar esta relação podem ser inviáveis.

**f)** Melhoria no nível sigma: muito importante, devendo-se atribuir peso elevado a este critério, que está diretamente relacionado ao nível de qualidade dos produtos e dos serviços. A melhoria no nível sigma implica a redução da variabilidade do processo.

**g)** Impacto financeiro (*cost of poor quality* – COPQ): muito importante, devendo-se atribuir peso elevado ao referido critério. Este critério avalia o ganho financeiro a partir da redução da variabilidade / melhoria da qualidade.

**h)** Crescimento da produtividade: relativamente importante, cabendo atribuir-se um baixo peso a este critério, que em muitos casos, tem relação com a redução da variabilidade em determinado processo. Nestes casos, basta considerar-se o critério nível sigma.

#### **4.1.3 Pesquisa aplicada do estudo 1**

O problema prático que apontou para a necessidade de desenvolvimento deste projeto Seis Sigma foi: atrasos na entrega dos produtos finais para seis clientes de uma siderúrgica. Isto comprometeu a relação com estes clientes, que são responsáveis pela maior parte do volume de produção de um processo de transformação mecânica de aços.

Para este projeto Seis Sigma foi utilizado o método DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve and Control*), cujas fases serão apresentadas na sequência desta subseção. Sobre este método cabe consultar Holtz e Campbell (2004), Senapati (2004), Sekhar e Mahanti (2006), Thomas, Barton e Byard (2008).

#### 4.1.3.1 Fase definir

Os principais pontos desenvolvidos nesta fase estão descritos na seqüência:

**a)** Formalização do grupo para atuar no projeto Seis Sigma: Para este projeto Seis Sigma foram selecionados 1 *Black Belt* e 2 *Green Belts* da organização. Esta seleção baseou-se nas necessidades do projeto, como por exemplo, a demanda por análises estatísticas e respectiva necessidade de conhecimento para isto.

**b)** Formalização do projeto Seis Sigma: Neste ponto o grupo fez os ajustes necessários no projeto, como por exemplo, ajustes no cronograma de trabalho. Na seqüência o grupo buscou a aprovação e a formalização do projeto perante a direção da unidade siderúrgica.

**c)** A localização do problema prático: Neste ponto o grupo listou onde o problema prático poderia ter suas causas raízes. O grupo concluiu que o problema estava relacionado ao processo de produção denominado transformação mecânica. Esta conclusão foi obtida a partir de dados quantitativos de todos os processos envolvidos com o problema prático. O processo de transformação mecânica tem início no processo de produção denominado acabamento de tarugos e tem o término no processo logístico (departamento de logística).

**d)** Os efeitos do problema prático: Neste ponto o grupo listou os principais efeitos que o problema prático gerou, tanto do ponto de vista interno (organização), como externo (clientes). Internamente os principais efeitos listados foram: 1. Perdas monetárias com indenizações aos clientes; 2. Perdas monetárias com logística expressa (logística aérea); 3. Perdas monetárias com a rescisão de um dos contratos de fornecimento a um dos clientes. Externamente os principais efeitos listados: 1. Insatisfação dos clientes em função dos atrasos na entrega dos produtos finais; 2. Interrupção no processo de produção de dois dos clientes.

**e)** O retorno financeiro previsto: Com a solução do problema prático, tem-se previsto como retorno financeiro 88.000 dólares por mês onde: 9.600 dólares são relacionados à eliminação da logística expressa (logística aérea), 78.400 dólares são relacionados à retomada do contrato rescindido por um dos clientes.

**f)** O investimento financeiro previsto: Para a execução do projeto tem-se previsto como investimento financeiro 7.000 dólares onde: 3.000 dólares são relacionados ao custo com pessoal e 4.000 dólares são relacionados ao custo com outras necessidades, por exemplo, treinamentos.

g) A métrica do projeto Seis Sigma: O grupo identificou como métrica principal o atendimento do prazo de entrega ao departamento de logística (em porcentagem). Esta métrica foi selecionada porque já existia no processo de produção, bem como por estar diretamente relacionada com o problema prático. Cabe destacar que ao melhorar o atendimento do prazo de entrega para o departamento de logística, este departamento poderá diminuir ou até mesmo eliminar a logística expressa (logística aérea). No mesmo contexto, ao melhorar os resultados relacionados a esta métrica, o departamento de logística poderá diminuir ou até mesmo eliminar os atrasos na entrega dos produtos finais para os clientes, desta forma solucionando o problema prático.

#### 4.1.3.2 Fase medir

Nesta fase, buscando inicialmente validar o problema prático, o grupo coletou dados qualitativos e quantitativos em relação ao processo de transformação mecânica. Dados como: mapeamentos de processo, tempos de processamento, relatórios de balanceamento de linha, mapeamentos de fluxo de valor, históricos estatísticos do processo, procedimentos de controle do processo, relatórios de programação da produção e, principalmente, dados relacionados à métrica principal considerada neste projeto Seis Sigma.

O desempenho atual da métrica principal considerada neste projeto Seis Sigma está apresentado na Tabela 4. Nesta tabela estão relacionados dados dos seis clientes para os quais houve atrasos na entrega dos produtos finais. Com a medição do desempenho atual da métrica foi possível confirmar a presença do problema prático. Isto foi realizado basicamente a partir de uma análise de estatística descritiva, conforme apresentado na Tabela 4.

Nos dados relacionados aos seis clientes, na Tabela 4, cabe ressaltar: (i) conforme a informação “1”, o número de lotes enviados ao departamento de logística, seguindo os pedidos de cada cliente no período de 18 de maio de 2010 até 17 de junho de 2010; (ii) conforme a informação “2” o prazo máximo de entrega para o departamento de logística estabelecido em contrato, para que seja possível para o departamento de logística não atrasar a entrega dos produtos finais para o respectivo cliente; (iii) conforme a informação “9” o número de lotes entregues acima do prazo máximo, isto é, número de lotes não conformes; (iv) conforme a informação “10” a porcentagem abaixo do limite máximo, isto é, lotes entregues dentro do prazo; (v) conforme as

informações “4”, “7” e “8” (que evidenciam a amplitude dos dados) a indicação de alta variação no processo.

Tabela 4 – Dados relacionados aos seis clientes considerando a métrica principal do projeto Seis Sigma.

Informação	Cliente 1	Cliente 2	Cliente 3	Cliente 4	Cliente 5	Cliente 6
1. Número de dados (número de lotes)	3862	2654	2538	2191	2053	1522
2. Prazo máximo de entrega em horas (contrato)	13	09	21	12	18	15
3. Prazo médio de entrega em horas (realizado)	12,77	8,90	19,77	11,80	15,76	14,49
4. Desvio Padrão	0,6547	0,4689	1,1717	1,0627	1,7727	1,7452
5. Curtose	-0,0328	0,0527	-0,0587	-0,1504	0,0957	0,1068
6. Assimetria	0,0229	-0,0179	0,0162	0,0373	0,0861	0,0305
7. Valor máximo em horas	15,13	10,50	23,41	15,50	22,79	20,92
8. Valor mínimo em horas	10,46	7,31	15,71	7,96	9,54	9,08
9. Lotes acima do prazo máximo	1415	1100	365	935	223	581
10. % de atendimento do prazo de entrega ao departamento de logística	63,36	58,55	85,62	57,33	89,82	61,83

No entanto, mais importante que confirmar a presença do problema no processo de transformação mecânica, foi entender um pouco melhor o cenário onde este problema estava inserido. A partir disto, foi possível definir o desempenho futuro esperado da métrica, ou seja, aumentar para 100% o atendimento do prazo de entrega ao departamento de logística.

Adicionalmente, com a análise dos dados verificou-se que a definição do problema prático estava muito geral, evidenciando a necessidade de uma análise detalhada do problema. O grupo conduziu então, uma análise de cada subprocesso do processo de transformação mecânica, buscando validar o problema prático de modo mais específico. Alguns dados e pré-análises estão apresentadas na Tabela 5, considere a primeira parte (“antes”) na tabela. Cabe ressaltar que foram apresentados aqui apenas os dados mais relevantes e que evidenciam o problema prático. Outras análises, como por exemplo, análises do *Process Time* (PT), não indicaram problemas nos subprocessos.

Assim, na Tabela 5 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** estão relacionados resumidamente os resultados das análises conduzidas considerando agora o *Lead Time* (LT). Vale frisar: **(i)** conforme as informações “1”, o número de lotes processados no período de 29 de julho de 2010 até 23 de agosto de 2010; **(ii)** conforme a informação “2” o padrão *Lead Time* para cada subprocesso; **(iii)** conforme a informação “9” o número de lotes acima do padrão LT; **(iv)** conforme a informação “10” a porcentagem de atendimento do padrão

LT; **(v)** conforme as informações “4”, “7” e “9” a indicação de alta variação nos subprocessos, considerando o *Lead Time*.

As análises destes dados evidenciaram um pouco melhor onde o problema prático estava inserido. Com as análises verificou-se que existe uma elevada variação nos subprocessos. De tal modo, validou-se o problema prático como sendo a elevada variação dos tempos de atravessamento (*Lead Time*) dos subprocessos. Na próxima fase será apresentada a análise do problema prático, buscando identificar as causas raízes do problema.

#### 4.1.3.3 Fase analisar

Nesta fase, o grupo desenvolveu hipóteses, buscou identificar as causas raízes do problema e validou as hipóteses. As hipóteses qualitativas desenvolvidas foram: **(i)** falha na programação e controle da produção (PCP); **(ii)** falha no fornecimento de materiais; **(iii)** falha no desempenho das máquinas; **(iv)** falha na atuação humana; **(v)** falha no balanceamento de linha; **(vi)** falha na sincronização dos subprocessos; **(vii)** falha no sistema de medição.

Inicialmente o grupo cogitou uma análise quantitativa das hipóteses levantadas. Contudo, para conduzir uma análise quantitativa, 46 indicadores de desempenho deveriam ser criados e implantados no processo de transformação mecânica. O grupo tentou então, encontrar as causas raízes do problema procedendo preliminarmente com uma análise qualitativa. Para isso, o grupo conduziu uma análise utilizando a ferramenta FMEA (*failure mode and effects analysis*). O grupo procedeu inicialmente com a análise qualitativa porque, para o caso específico em questão, é menos onerosa e mais rápida ao evidenciar uma possível resposta positiva. A resposta positiva definida aqui é: encontrar as causas raízes do problema.

De tal modo, o grupo utilizou a ferramenta FMEA para analisar os atrasos nos prazos de entrega dos produtos ao departamento de logística. Todos os passos da ferramenta FMEA foram seguidos conforme estabelecido no reverencial Stamatis (2003). Com isso o grupo compôs sete formulários FMEA, um formulário para cada hipótese qualitativa desenvolvida. Estes formulários foram desenvolvidos principalmente a partir de dados quantitativos disponíveis para o processo de transformação mecânica.

Após a conclusão dos formulários FMEA, dois se destacaram em comparação aos outros: o formulário que investigou falha no fornecimento de materiais e o formulário que investigou falha na

sincronização dos subprocessos. Isto indica que: as causas que se destacaram são indícios de que são as causas raízes do problema prático ascendente deste trabalho. O *Risk Priority Number* destas causas chegou ao nível de 270 e 378. Estes índices foram identificados como críticos a partir de entrevistas abertas realizadas com os supervisores do processo de transformação mecânica. As entrevistas foram necessárias porque não existiam dados quantitativos que auxiliassem a estabelecer o indicador “probabilidade” para as respectivas causas em questão nos formulários FMEA.

O fato surpreendente é que estas causas aparentemente não eram consideradas como críticas para as pessoas envolvidas com o processo de transformação mecânica. Isto porque os atrasos no fornecimento de materiais eram muito irrelevantes sob a ótica das pessoas. Tratava-se de atrasos de segundos (unidade de tempo), mas que aparentemente estavam causando problemas de variação excessiva nos subprocessos. Identificou-se que os atrasos eram principalmente relacionados às ordens de produção que eram *make-to-stock* (MTS), ou seja, produção empurrada.

De fato, os indicadores de desempenho mostravam que os tempos de processamento (*Process Time*) estavam dentro dos padrões toleráveis. Contudo, os indicadores mostravam que os tempos de atravessamento (*Lead Time*) estavam fora dos padrões toleráveis. Poucas pessoas visualizaram o problema, pois os tempos de máquina estavam dentro dos padrões. O fato é que certas categorias de produtos intermediários eram produzidas e ficavam na fila aguardando outras categorias de produtos. Eram questões de segundos, mas que causavam a variação no tempo de processamento dos produtos finais. Em outras palavras: não havia sincronização dos subprocessos por falta de certas categorias de produtos intermediários.

Os principais pontos negativos que as entrevistas e as observações dos subprocessos revelaram após as análises foram: **(i)** os operadores, em certos momentos, tinham dúvidas relacionadas às categorias de produtos intermediários a serem produzidas, em termos do tamanho do lote; **(ii)** os operadores, em certos momentos, tinham que solicitar prioridade na produção, prejudicando os demais subprocessos; **(iii)** as pessoas do departamento de PCP tinham que retrabalhar os planos de produção; **(iv)** a ausência de caixas de armazenamento de produtos intermediários, ocasionando atrasos de segundos (unidade de tempo) nos subprocessos subsequentes.

De tal modo, o grupo identificou como causas raízes do problema “atrasos nos prazos de entrega ao departamento de logística”: **(causa 1)**

Falha no fornecimento de materiais; (**causa 2**) Falha na sincronização dos subprocessos. Com isto as hipóteses ii e vi foram validadas como procedentes. As soluções propostas estão apresentadas na próxima subseção.

#### 4.1.3.4 Fase melhorar

Nesta fase o grupo desenvolveu ideias para remover as causas raízes do problema, testou soluções, padronizou soluções, e mediu o novo desempenho. As ideias desenvolvidas para remover as causas raízes do problema foram: **(i)** implementar a produção puxada; **(ii)** criar estoques do tipo supermercado. Estas ideias, pelo menos na teoria, seriam capazes de sincronizar os subprocessos, reduzindo o tempo de atravessamento (*Lead Time*) e consequentemente, melhorando os resultados no atendimento dos prazos de entrega. Para tanto, estas ideias precisaram ser testadas de modo a garantir que as causas raízes fossem efetivamente eliminadas, solucionando o problema prático. Em outras palavras, foram realizados testes com lotes pilotos. Algumas definições são necessárias aqui:

**Para a primeira ideia:** implementar a produção puxada. Neste texto, serão descritas resumidamente as ações tomadas. O grupo definiu as rotinas de funcionamento do sistema puxado. Isto a partir de análises das demandas, identificando-se itens de alta frequência e alto volume e itens de alta frequência e baixo volume, bem como itens de baixa frequência e baixo volume. Na sequência foram definidos quais itens seriam produzidos *make-to-stock* (MTS) e quais seriam produzidos *make-to-order* (MTO). Depois foram projetados e comprados os cartões *Kanban* e os quadros *Kanban*. Pequenas alterações nos procedimentos de trabalho também foram necessárias para testar as ideias propostas pelo grupo, como por exemplo, alterações nos procedimentos padrões de trabalho dos operários.

**Para a segunda ideia:** criar estoques do tipo supermercado. De modo resumido, o grupo dimensionou os estoques do tipo supermercado. Criou um plano de fornecimento para cada categoria de produto intermediário. Com isso foi definido o tipo e a quantidade de prateleiras e demais dispositivos de armazenamento. Cada item intermediário teve sua localização definida visando facilitar o dimensionamento e o controle visual do estoque intermediário. Adicionalmente, objetivaram-se as seguintes vantagens: **(i)** fácil acesso aos itens intermediários; **(ii)** quantidade padronizada de itens em cada estoque; **(iii)** gestão visual em cada estoque; **(iv)** redução dos estoques.

Para os testes com os lotes pilotos, o grupo preparou o processo de produção com as rotinas de trabalho e com as adequações físicas. Os operadores foram treinados. Os testes práticos no processo de produção duraram quatro dias.

O grupo concluiu, a partir dos testes realizados com lotes pilotos, que o processo de transformação mecânica teve seu desempenho melhorado. O desempenho da métrica principal considerada neste projeto Seis Sigma foi de 100%, ou seja, todos os lotes atenderam o prazo de entrega ao departamento de logística. A partir dos testes, o grupo buscou a aprovação perante a direção para implementar por definitivo as ideias de melhoria. A direção aprovou as alterações no processo de transformação mecânica.

A partir disto, o grupo procedeu com uma série de ajustes no plano de implementação das melhorias (ideias propostas e testadas pelo grupo). Os principais ajustes necessários foram: **(i)** alterações significativas no *software* de PCP; **(ii)** alterações pouco significativas nas rotinas de trabalho do departamento de PCP; **(iii)** alterações pouco significativas nas rotinas de trabalho de *setup*; **(iv)** alterações pouco significativas no arranjo físico do processo de produção; **(v)** alterações significativas nas rotinas de trabalho dos operadores do processo; **(vi)** adequações nos quadros e cartões *Kanban*; **(vii)** adequações significativas nos estoques de itens intermediários; **(viii)** adequações significativas nos estoques do tipo supermercado.

Concluídos os ajustes, o grupo iniciou a efetiva implementação das melhorias. Procedeu-se com a comunicação formal a toda organização das alterações no processo de produção. Realizou-se, na sequência, um *workshop* inicial de três dias, com o objetivo de alinhar e nivelar o conhecimento sobre as alterações que seriam implementadas. As alterações foram apresentadas na teoria, com a simulação e o teste de alguns cenários por meio de desenhos em quadro de ensino didático. Analisou-se então, novamente o processo em questão, sendo identificados os principais pontos a serem priorizados no plano de ação. Uma sessão de *brainstorming* foi realizada para a geração de ideias e elaboração do plano de ação para a implementação das alterações.

Analisando o processo a partir do pedido do cliente, definiu-se que os itens selecionados para o supermercado de produtos prontos sejam checados via programação semanal e repostos em dois dias, tempo necessário para que os produtos sejam processados e reabasteçam as prateleiras de produtos prontos para o cliente. A confirmação da programação semanal visa garantir que esta nova prática aconteça com o

mínimo de problemas possível, visto que se trata de uma mudança na gestão da produção.

Na sequência foram concretizados dois *workshops* para a mudança do sistema empurrado para o sistema puxado de produção. Durante o processo de mudança para a produção puxada, o grupo verificou que não seria mais necessário o estoque de segurança no cliente, esta necessidade seria suprida pelo supermercado de produtos prontos na organização, principalmente dos itens de maior demanda.

Tabela 5 – Dados relacionados aos subprocessos do processo de transformação mecânica (*Lead Time*).

Antes →	Sub 1	Sub 2	Sub 3	Sub 4	Sub 5	Sub 6	Sub 7	Sub 8	Sub 9
1. Número de dados (número de lotes)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
2. Padrão <i>Lead Time</i> (LT) em minutos	8,5	30	2,1	7,8	99	6	78	9,8	38
3. <i>Lead Time</i> médio em minutos	8,43	29,44	1,92	7,62	95,4	5,87	74,4	9,64	37,67
4. Desvio Padrão	0,1929	0,4736	0,2312	0,2952	0,0454	0,1709	0,0902	0,0636	0,2208
5. Curtose	0,1174	0,2028	-0,1952	-0,0817	-0,3734	0,1854	0,8411	-0,1626	0,0612
6. Assimetria	-0,0365	-0,1444	0,0534	-0,0184	0,0668	-0,1841	0,0704	0,0634	0,1525
7. Valor máximo em minutos	9,03	31,21	2,68	8,58	103,8	6,41	103,8	9,83	38,47
8. Valor mínimo em minutos	7,81	27,61	1,26	6,61	87,6	5,29	55,8	9,46	36,92
9. Lotes acima do padrão LT	353	103	216	288	105	234	242	7	68
10. % de atendimento do padrão	64,70	89,70	78,40	71,20	89,50	76,60	75,80	99,30	93,20
Depois →	Sub 1	Sub 2	Sub 3	Sub 4	Sub 5	Sub 6	Sub 7	Sub 8	Sub 9
1. Número de dados (número de lotes)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
2. Padrão <i>Lead Time</i> (LT) em minutos	8,5	30	2,1	7,8	99	6	78	9,8	38
3. <i>Lead Time</i> médio em minutos	8,31	29,33	1,82	7,24	90,6	5,63	67,2	9,63	37,62
4. Desvio Padrão	0,1050	0,2550	0,2001	0,1913	0,0395	0,1210	0,0721	0,0593	0,2086
5. Curtose	0,0378	0,1517	-0,1512	-0,0435	0,3487	0,0536	0,2792	-0,0570	0,2403
6. Assimetria	-0,1655	0,0980	0,0066	-0,130	0,0775	0,0099	0,1801	0,1389	0,1628
7. Valor máximo em minutos	8,64	30,29	2,52	7,81	102,6	6,06	83,4	9,81	38,38
8. Valor mínimo em minutos	7,96	28,57	1,21	6,61	84	5,26	53,4	9,46	37,03
9. Lotes acima do padrão LT	30	5	79	3	1	4	12	4	42
10. % de atendimento do padrão	97,00	99,50	92,10	99,70	99,90	99,60	98,80	99,60	95,80

As principais mudanças físicas implementadas no processo de transformação mecânica para tornar o sistema puxado possível foram as

criações de boxes exclusivos para os supermercados de produtos a serem processados, facilitando a gestão visual. Para o supermercado antes do penúltimo processo, os produtos foram organizados em prateleiras (chamadas de “árvores”), em locais específicos para o supermercado. Finalmente os produtos prontos foram organizados por tamanho e peso. O gerenciamento do sistema puxado de produção ficou intuitivo a partir das intervenções visuais, seguindo uma lógica de produção identificada por cores.

Depois de quatro meses acompanhando o processo de transformação mecânica, o grupo concluiu que as ideias implementadas removeram as causas raízes do problema prático. Isto é, o problema foi quase totalmente eliminado, pois as novas medições mostraram que o atendimento do prazo de entrega ao departamento de logística subiu para 99,14% (média dos quatro meses para os seis clientes). Alguns dados que comprovam este desempenho estão apresentados na Tabela 5 onde estão relacionados resumidamente os resultados das análises conduzidas nos subprocessos, especificamente, novas análises do *Lead Time* (LT). As variáveis envolvidas são as mesmas que aquelas apresentadas anteriormente na mesma tabela, mas com o respectivo número de lotes processados no período de 18 de novembro de 2010 até 12 de dezembro de 2010, portanto, considere a segunda parte na tabela: “depois”. Vale destacar como principal diferença a indicação de baixa variação nos subprocessos, considerando o LT.

#### 4.1.3.5 Fase controlar

Com a conclusão da implementação das melhorias no processo de transformação mecânica, o grupo procedeu com a padronização das alterações realizadas. Naturalmente, os novos padrões de produção passaram a ser controlados. Complementarmente, novas intervenções específicas foram necessárias para garantir o bom desempenho do processo de produção. Isto é, pequenos ajustes foram necessários para garantir o funcionamento do sistema puxado, bem como dos estoques do tipo supermercado. Detalhando um pouco estes pequenos ajustes, cabe destacar: **(i)** reajustes no dimensionamento dos estoques do tipo supermercado; **(ii)** reajustes no sistema *Kanban* para atender com segurança a demanda; **(iii)** reajustes no padrão da ordem de produção emitida pelo departamento de PCP; **(iv)** reajustes no padrão *Lead Time* após as melhorias; **(v)** reajustes no sistema de gestão visual.

Os indicadores de desempenho do processo confirmaram a quase total eliminação do problema prático. Os novos dados do processo de

transformação mecânica relacionados aos seis clientes estão apresentados na Tabela 6, mas com o número de lotes enviados ao departamento de logística seguindo os pedidos de cada cliente no período de 18 de dezembro de 2010 até 17 de janeiro de 2011. As variáveis envolvidas são as mesmas que aquelas apresentadas na Tabela 4. No entanto, na Tabela 6, cabe destacar como principais diferenças: **(i)** conforme a informação “9” o número de lotes entregues acima do prazo máximo, isto é, número de lotes não conformes; **(ii)** conforme a informação “10” a porcentagem abaixo do limite máximo, isto é, lotes entregues dentro do prazo; **(iii)** conforme as informações “4”, “7” e “8” a indicação de baixa variação no processo.

Deste modo o projeto Seis Sigma foi concluído. O objetivo foi atingido, pois apenas alguns lotes ainda foram entregues com atraso para o departamento de logística. Outros resultados do projeto Seis Sigma serão apresentados na próxima seção deste texto.

#### 4.1.4 Resultados práticos do estudo qualitativo de campo 1

Os principais resultados práticos para a empresa após a conclusão do projeto Seis Sigma podem ser sumarizados conforme segue:

**a)** No total, atuaram no projeto ativamente 1 *Black Belt* e 2 *Green Belts* da organização, bem como 1 doutorando (autor deste trabalho) de um grupo de pesquisa brasileiro, como participante externo.

**b)** No total, o projeto teve duração de oito meses. No decorrer destes meses ajustes no cronograma de trabalho foram necessários em dois momentos, ou seja, no 1º mês e no 3º mês.

**c)** Os efeitos do problema prático foram eliminados, cabendo destacar as melhorias verificadas, isto é: **(i)** não se tiveram mais perdas monetárias com indenizações aos clientes; **(ii)** não se tiveram mais perdas monetárias com logística expressa (logística aérea); **(iii)** não se tiveram mais perdas monetárias com rescisões de contratos de fornecimento, em especial, o cliente que havia rescindido um contrato, retomou o referido contrato de fornecimento; **(iv)** a insatisfação dos clientes em função dos atrasos na entrega dos produtos finais foi reduzida: apenas um cliente reclamou de novos atrasos; **(v)** não se tiveram mais interrupções nos processos de produção dos clientes.

**d)** O retorno financeiro com a solução do problema prático foi de 85.200 dólares no primeiro mês onde: 10.800 dólares são relacionados à eliminação da logística expressa (logística aérea), 74.400 dólares são relacionados à retomada do contrato rescindido por um dos clientes.

e) O investimento financeiro para a execução do projeto Seis Sigma foi de 11.000 dólares onde: 3.400 dólares são relacionados ao custo com pessoal e 7.600 dólares são relacionados ao custo com outras necessidades, como por exemplo, consultores terceirizados, ajustes no processo de produção, treinamentos de operadores, compras de materiais.

f) Em relação à métrica do projeto Seis Sigma – o atendimento do prazo de entrega ao departamento de logística (em porcentagem) – cabe destacar que se teve uma melhoria considerável no desempenho da métrica após a implementação definitiva das melhorias.

g) Após melhorar o atendimento do prazo de entrega para o departamento de logística, este departamento pôde eliminar a logística expressa (logística aérea), bem como, pôde diminuir os atrasos na entrega dos produtos finais para os clientes. Isto é, conforme a Tabela 6 pode-se verificar que o atendimento do prazo de entrega para o departamento de logística, no período considerado, teve uma média de 91,84%. Ao se comparar esta média com a média inicial, Tabela 4, pode-se verificar a melhoria evidente. A média inicial era de 69,42%, destacando que tanto na Tabela 4 quanto na Tabela 6, o período considerado para as análises é de 1 mês.

Tabela 6 – Dados relacionados aos seis clientes considerando a métrica principal do projeto Seis Sigma.

<b>Informação</b>	<b>Cliente 1</b>	<b>Cliente 2</b>	<b>Cliente 3</b>	<b>Cliente 4</b>	<b>Cliente 5</b>	<b>Cliente 6</b>
<b>1. Número de dados (número de lotes)</b>	946	762	781	514	282	370
<b>2. Prazo máximo de entrega em horas (contrato)</b>	13	09	21	12	18	15
<b>3. Prazo médio de entrega em horas (realizado)</b>	12,60	8,57	19,65	11,41	15,43	14,12
<b>4. Desvio Padrão</b>	0,2832	0,3131	0,8854	0,5760	1,1642	0,6596
<b>5. Curtose</b>	-0,1824	9,2772	-0,1962	-0,0719	0,0603	0,0306
<b>6. Assimetria</b>	-0,0744	-0,8952	-0,0615	0,0335	0,0947	-0,1068
<b>7. Valor máximo em horas</b>	13,38	9,65	22,20	13,29	18,77	15,94
<b>8. Valor mínimo em horas</b>	11,63	5,66	17,06	9,67	12,59	12,09
<b>9. Lotes acima do prazo máximo</b>	74	59	49	80	6	35
<b>10. % de atendimento do prazo de entrega ao departamento de logística</b>	92,18	92,26	93,73	84,44	97,87	90,54

Com estes resultados práticos, encerra-se esta subseção. Na próxima subseção apresentar-se-á o segundo estudo qualitativo de campo.

## 4.2 ESTUDO QUALITATIVO DE CAMPO 2

Este segundo estudo qualitativo de campo foi realizado em outra unidade siderúrgica brasileira, mas da mesma organização privada de grande porte considera no primeiro estudo de campo. Nesta pesquisa do tipo estudo de caso se identificou um processo de seleção de projetos Seis Sigma não estruturado e baseado em análises estatísticas de dados históricos dos processos de produção para os quais os projetos Seis Sigma foram propostos.

### 4.2.1 Objetivo do estudo qualitativo de campo 2

O objetivo neste segundo estudo qualitativo de campo é apresentar o processo de seleção de projetos Seis Sigma adotado, bem como, as variáveis críticas consideradas no respectivo processo. Assim, a contribuição teórica é o entendimento do processo não estruturado de seleção de projetos Seis Sigma relacionados a processos de produção com características de operação muito semelhantes.

### 4.2.2 Processo de seleção e variáveis críticas do estudo 2

O processo de seleção de projetos Seis Sigma utilizado neste caso prático não é estruturado e baseia-se em uma sequência de análises estatísticas básicas de dados históricos relacionados a processos de produção dos quais são derivados os projetos Seis Sigma: Quadro 11.

Neste processo de seleção foram consideradas apenas duas variáveis críticas, uma para cada projeto Seis Sigma, sendo elas: 1. Especificação de produto processado (projeto Seis Sigma 1); 2. Especificação de produto processado (projeto Seis Sigma 2).

A justificativa por terem sido consideradas apenas duas variáveis críticas foi apresentada pelas pessoas envolvidas no processo de seleção: como o mais importante destes projetos Seis Sigma era melhorar o desempenho de dois processos de produção, o mais conveniente foi analisar dados históricos de produção nestes processos. Assim, a lógica utilizada foi identificar a partir dos dados históricos qual dos processos de produção era menos instável, tendo sido necessária uma análise mais detalhada de estatística. Isto porque os processos apresentavam desempenhos satisfatórios e muito parecidos se considerarmos uma análise mais simples.

Quadro 11 – Descrição resumida do processo de seleção do estudo 2.

Nº Atividade	
1	Reunião com duração aproximada de 4,5 horas com um <i>Black Belt</i> e cinco <i>Green Belts</i>
1.1	Apresentação dos dois projetos concorrentes no processo de seleção
1.2	Análise relativa à disponibilidade de dados qualitativos e quantitativos de cada projeto
1.3	Seleção das variáveis críticas, isto é, duas variáveis aleatórias relacionadas respectivamente a cada projeto candidato no processo de seleção
1.4	Análise de estatística descritiva dos dados históricos relacionados às duas variáveis críticas
1.5	Discussão da análise estatística realizada
2	Reunião com duração aproximada de 5 horas com as mesmas pessoas que participaram da primeira reunião
2.1	Teste de independência entre as variáveis aleatórias
2.2	Coleta de mais dados históricos relacionados às variáveis aleatórias
3	Reunião com duração aproximada de 4 horas com as mesmas pessoas que participaram da primeira e da segunda reunião
3.1	Realização de cálculos dos intervalos de confiança do primeiro e do segundo momento
3.2	Realização de novos cálculos dos intervalos de confiança do primeiro e do segundo momento para alguns subgrupos de dados
3.3	Decisão pelo projeto Seis Sigma que poderia proporcionar mais oportunidades de melhoria a partir dos resultados dos cálculos dos intervalos de confiança

### 4.2.3 Pesquisa aplicada do estudo 2

A necessidade da seleção de um projeto Seis Sigma se deu em função de uma demanda assumida pela direção de uma siderúrgica. Dois projetos foram apresentados pela gerência de produção do setor de transformação mecânica de aços. A direção da unidade siderúrgica solicitou a seleção de apenas um destes projetos.

#### 4.2.3.1 Contextualização: apresentação dos projetos Seis Sigma

Neste estudo de campo o processo de seleção de projetos Seis Sigma envolveu duas características em especial a saber. A primeira é que apenas dois projetos Seis Sigma foram propostos pela gerência de produção. A segunda é que os dois projetos eram muito semelhantes e relacionados a dois processos de produção também muito semelhantes. Estes fatos, pelo contrário do que se imaginou, influenciaram no sentido de dificultar a seleção do projeto, afinal eram apenas dois projetos e com variáveis muito semelhantes. O resumo de algumas variáveis de cada projeto Seis Sigma está apresentado no Quadro 12.

Quadro 12 – Os projetos Seis Sigma e algumas respectivas variáveis.

Variáveis	Projeto Seis Sigma 1	Projeto Seis Sigma 2
Número de <i>Black Belts</i>	1	1
Número de <i>Green Belts</i>	1	1
Duração do projeto	6 meses	6 meses
Localização do problema prático	em um processo de produção (laminação de aço)	em um processo de produção (laminação de aço)
Natureza do problema prático	não conformidades nos produtos finais do processo	não conformidades nos produtos finais do processo
Efeitos do problema prático para a organização	perdas monetárias com indenizações aos clientes; perdas monetárias com refugos, retrabalhos e reposições de produtos	perdas monetárias com rescisão de contratos de fornecimento; perdas monetárias com refugos, retrabalhos e reposições de produtos
Efeitos do problema prático para o cliente	insatisfação dos clientes em função das não conformidades	interrupção nos processos de produção dos clientes
Retorno financeiro previsto	24.093 dólares ao quadrimestre	23.287 dólares ao quadrimestre
Investimento financeiro total previsto	17.430 dólares	15.920 dólares
Principal métrica do projeto	% de não conformidades no processo de produção	% de não conformidades no processo de produção
Impacto do projeto na satisfação do cliente	diretamente	diretamente
Impacto do projeto no planeamento estratégico da organização	diretamente	diretamente
Impacto no nível sigma	projeção de diminuição de pelo menos 131 defeitos por milhão de oportunidades (DPMO)	projeção de diminuição de pelo menos 181 DPMO
Impacto na produtividade	variável incerta / não definida quantitativamente	variável incerta / não definida quantitativamente

#### 4.2.3.2 Definição do processo de seleção de projetos Seis Sigma a ser utilizado

O grupo responsável pela seleção de um dos projetos Seis Sigma procedeu com uma análise relativa à disponibilidade de dados qualitativos e quantitativos nos projetos para buscar definir o processo de seleção a ser utilizado. Verificou-se que para cada projeto havia dados quantitativos suficientes para utilizar-se um processo de seleção baseado em algum modelo matemático. Os dados quantitativos referiam-se principalmente aos indicadores de desempenho utilizados para controlar os processos de produção cujos projetos respectivamente se referiam. Em função das características dos projetos Seis Sigma o grupo decidiu por não utilizar nenhum dos modelos matemáticos

disponíveis na literatura consultada para este trabalho, nem mesmo modelos de decisão de multi critérios (MCDM).

O grupo decidiu então, utilizar um processo não estruturado, isto é, uma sequência de análises estatísticas que pudessem evidenciar as mais relevantes oportunidades de melhoria em um ou outro processo de produção. Aqui se apresenta uma prática interessante, que pode ser utilizada em casos semelhantes, ou seja, ao invés de considerarem-se apenas as variáveis relacionadas aos projetos Seis Sigma, pode-se alternativamente considerar os dados relacionados aos processos de produção, desde que os projetos Seis Sigma objetivem a implementação de melhorias nestes respectivos processos de produção.

#### 4.2.3.3 Apresentação dos processos de produção

Os dois processos de produção relacionados respectivamente com os dois projetos Seis Sigma são denominados P1 e P2. Foram desenvolvidos projetos Seis Sigma para estes processos de produção porque produtos com problemas de qualidade estavam sendo produzidos, em específico, tarugos de aço com não conformidades em suas dimensões geométricas de perfil quadrado. Não conformidades nestes processos de produção precisam ser eliminadas ou reduzidas, pois os produtos finais de P1 e P2 são enviados para os clientes e não para outros processos internos da organização. Igualmente, uma das estratégias de médio prazo da organização é reduzir não conformidades nos produtos finais enviados aos clientes.

Os processos P1 e P2 são compostos por nove subprocessos. Para P1, tem-se: SP101, SP102, SP103, SP104, SP105, SP106, SP107, SP108 e SP109, e para P2, tem-se: SP201, SP202, SP203, SP204, SP205, SP206, SP207, SP208 e SP209. Todos os subprocessos em questão são laminadores a frio, sendo que em cada subprocesso existem em média oito variáveis aleatórias para as quais são desempenhados os controles de processo.

#### 4.2.3.4 Apresentação das variáveis aleatórias de interesse

Para este trabalho foram extraídas do relatório de pesquisa apenas duas variáveis aleatórias de interesse aqui, em outras palavras, variáveis aleatórias que mostraram excessiva variabilidade nas análises estatísticas realizadas. Este também é um esforço no sentido de facilitar o entendimento deste trabalho, visto que um processo de laminação (seja a quente ou a frio) não é um processo simples de ser projetado, ou

controlado, ou colocado em campanha de produção, porque pelo menos duas dezenas de variáveis aleatórias relacionam-se e influenciam as características do produto em transformação mecânica nos rolos laminadores.

As variáveis aleatórias de interesse são:

a) Variável aleatória  $C_{112}$  onde:  $C_{112}$  é igual à largura geométrica do tarugo de aço processado em SP<sub>109</sub>; a especificação nominal de  $C_{112}$  é 120 milímetros e; as especificações de  $C_{112}$  são dadas pela equação 1:

$$S_{112} = \{c_{112} \mid 115 \leq c_{112} \leq 125\} \quad (1)$$

b) Variável aleatória  $C_{212}$  onde:  $C_{212}$  = largura geométrica do tarugo de aço processado em SP<sub>209</sub>; a especificação nominal de  $C_{212}$  é 90 milímetros e; as especificações de  $C_{212}$  são dadas pela equação 2:

$$S_{212} = \{c_{212} \mid 89 \leq c_{212} \leq 91\} \quad (2)$$

#### 4.2.3.5 Processo de seleção do projeto Seis Sigma

Para identificar o processo de produção com mais oportunidades de melhoria, o que implicaria na seleção de um projeto Seis Sigma, procedeu-se com uma série de práticas simples e de modo não estruturado. Inicialmente o grupo considerou para a análise todas as variáveis aleatórias relacionadas à P1 e P2, isto é, 238 variáveis aleatórias. Cada variável aleatória foi analisada considerando os períodos característicos, buscando verificar a estabilidade de P1 e P2 entre as paradas (interrupções) do processo. Aqui se utilizou a estatística descritiva, sendo que para a condução das análises utilizou-se o *software* Mathematica (versão 5.2).

Com as análises foi possível identificar instabilidade nos subprocessos SP<sub>109</sub> e SP<sub>209</sub>, especificamente, em duas variáveis aleatórias  $C_{112}$  e  $C_{212}$ . Em  $C_{112}$  e  $C_{212}$  eram visíveis sistemáticas flutuações de variabilidade, o que justificava a elevada taxa de não conformidades para estas variáveis aleatórias.

Num segundo momento passou-se a analisar as relações entre  $C_{112}$  e  $C_{212}$  com as demais variáveis aleatórias utilizando o teste do *Chi-quadrado* (teste de independência). O resultado mostrou relações significativas entre  $C_{112}$  e a maioria das variáveis aleatórias testadas de

SP<sub>107</sub>, SP<sub>108</sub>, SP<sub>109</sub>, bem como, mostrou relações significativas entre  $C_{212}$  e a maioria das variáveis aleatórias testadas de SP<sub>207</sub>, SP<sub>208</sub>, SP<sub>209</sub>. Os resultados dos cálculos que mostram estas relações significativas não foram apresentados para que este capítulo pudesse ser resumido e não ficar muito extenso. As relações entre as respectivas variáveis aleatórias foram significativas porque as significâncias dos testes (p) ficaram em média com valores abaixo de 0,01.

Relevante que aqui mais uma vez o grupo pôde verificar que os dois processos de produção são muito semelhantes. Neste ponto, novamente não foi possível identificar um processo de produção com mais oportunidades de melhoria, pois as diferenças nos resultados não eram estatisticamente significativas.

Para refinar o entendimento de P1 e P2, foi realizada uma análise mais detalhada. Para  $C_{112}$  e  $C_{212}$  foram coletados mais dados no banco de dados, respectivamente 995.000 e 1.150.000 dados que correspondem a 21 intervalos para cada variável aleatória. A ideia foi coletar dados suficientes para abranger os últimos quatro meses de produção. Cabe destacar que apenas  $C_{112}$  e  $C_{212}$  foram consideradas porque estatisticamente mostraram relações significativas com outras variáveis, então se  $C_{112}$  ou  $C_{212}$  mostrassem alguma anormalidade significativa, caberiam análises mais detalhadas das causas raízes desta anormalidade significativa.

Procedeu-se então com o cálculo dos intervalos de confiança da média e da variância para cada um dos 21 intervalos de dados de  $C_{112}$  e  $C_{212}$  com nível de confiança de 95%. Nas Figuras 9, 10, 11 e 12 são apresentados os intervalos de dados analisados, isto é, 5000 dados antes e 5000 dados depois de cada parada (interrupção) do processo de produção (total de 21 paradas). Assim, totalizou 42 conjuntos de dados com 5000 dados para cada uma das variáveis aleatórias. Novamente utilizou-se o *software* Mathematica, sendo que tanto para a média, como para a variância, utilizou-se como nível de confiança o valor de 0,95.

Nas Figuras 9, 10, 11 e 12 estão os intervalos de confiança da média e da variância onde é possível identificar algumas anormalidades sistemáticas nos processos, possíveis problemas de estabilidade em P1 e P2. Isto é, os intervalos de dados identificados e que se mostraram fora dos padrões normais são para SP<sub>109</sub>: 7, 8, 15, 19 e 20; para SP<sub>209</sub>: 2, 3, 8 e 14.

Em razão disto, o grupo procedeu com o aprofundamento da análise, sendo que para cada intervalo de dados identificado, novos subintervalos foram estabelecidos. Nas Figuras 13 até 21 são

apresentados os intervalos de confiança da média e da variância para cada um dos novos subintervalos de dados de  $C_{112}$  e  $C_{212}$ .

Figura 9 – Intervalos de confiança da média para 42 intervalos de dados de C112.

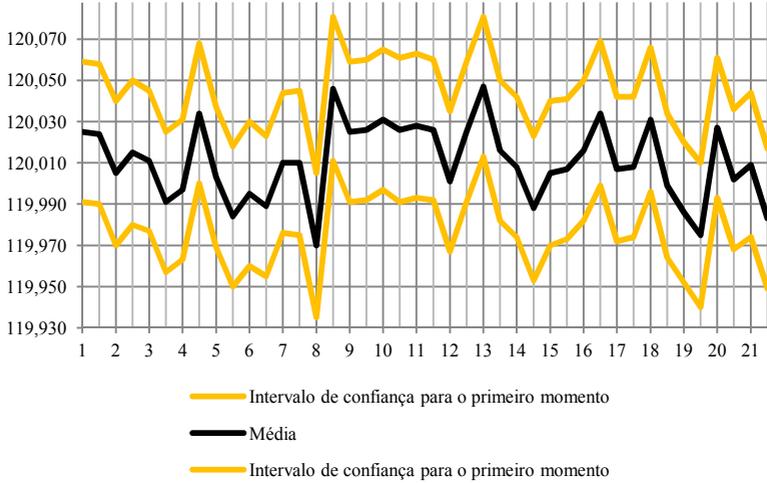


Figura 10 – Intervalos de confiança da variância para 42 intervalos de dados de C112.

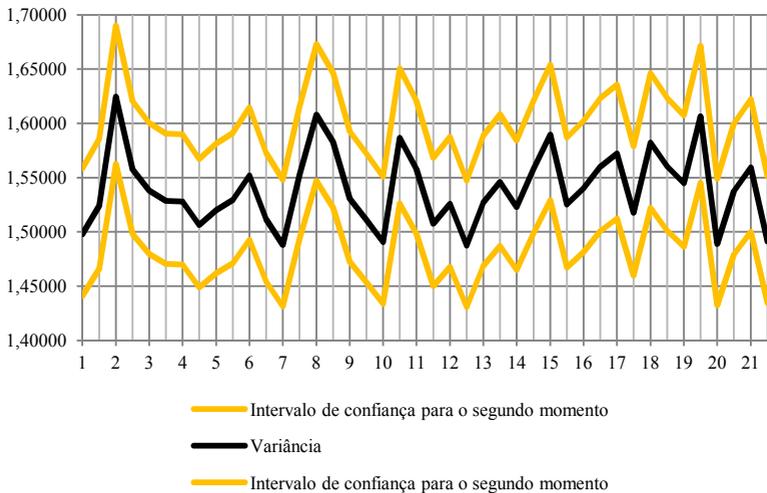


Figura 11 – Intervalos de confiança da média para 42 intervalos de dados de C212.

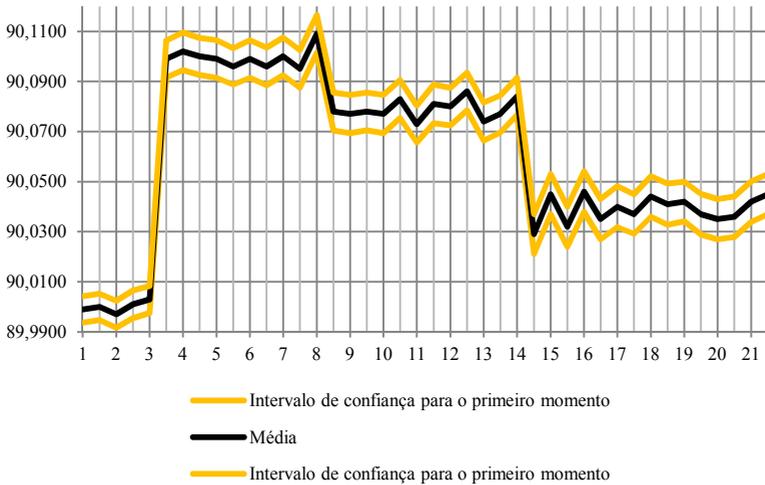


Figura 12 – Intervalos de confiança da variância para 42 intervalos de dados de C212.

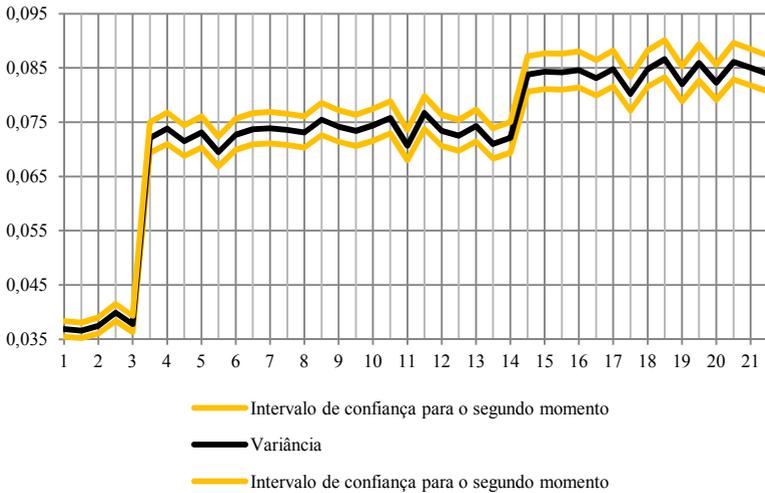


Figura 13 – Intervalos de confiança da média e da variância para o subintervalo 7 de C112.

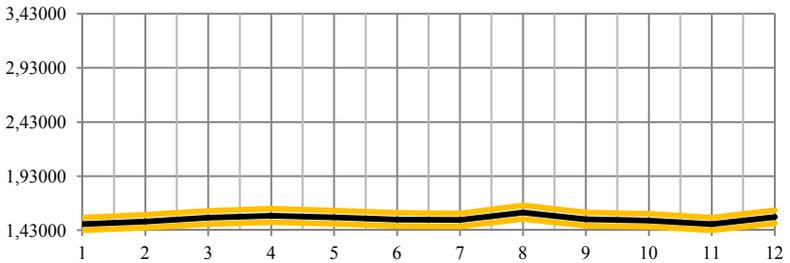
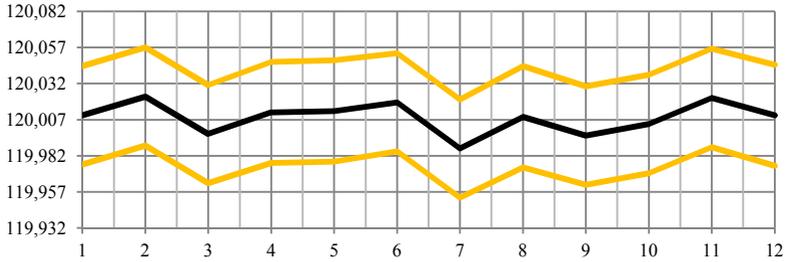


Figura 14 – Intervalos de confiança da média e da variância para o subintervalo 8 de C112.

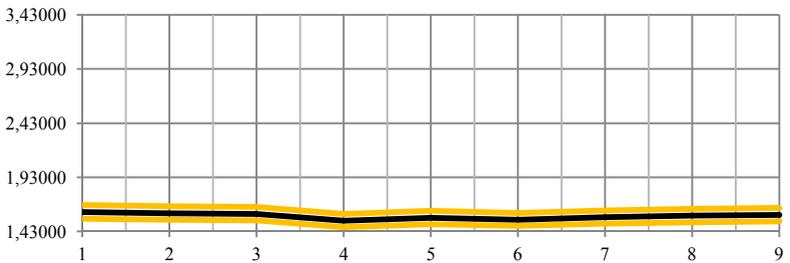
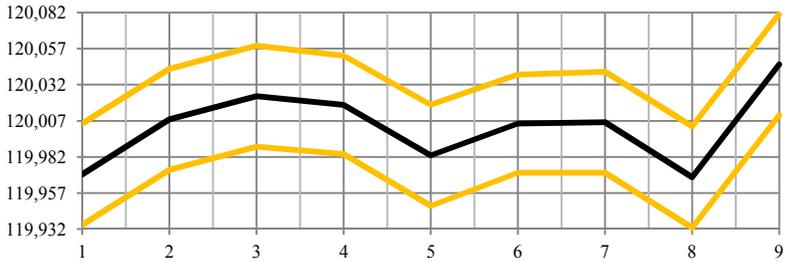


Figura 15 – Intervalos de confiança da média e da variância para o subintervalo 15 de C112.

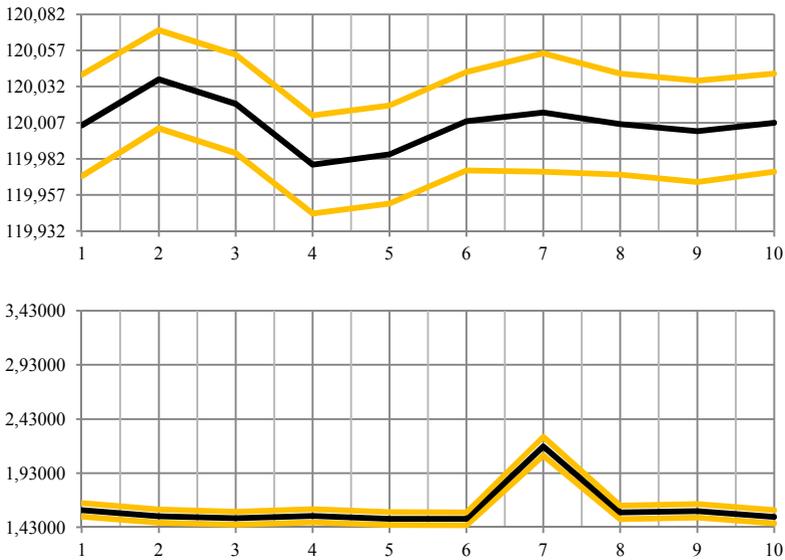


Figura 16 – Intervalos de confiança da média e da variância para o subintervalo 15 de C112.

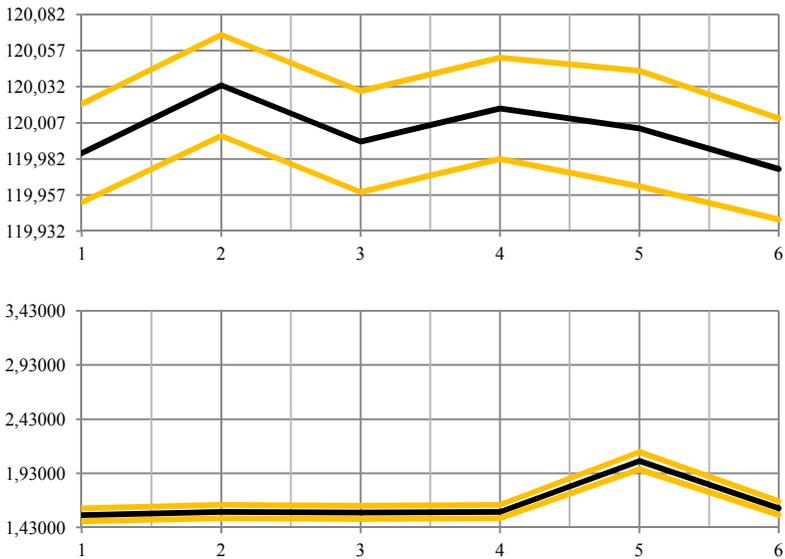


Figura 17 – Intervalos de confiança da média e da variância para o subintervalo 20 de C112.

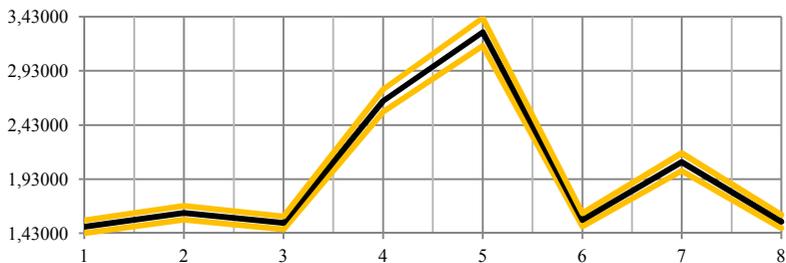
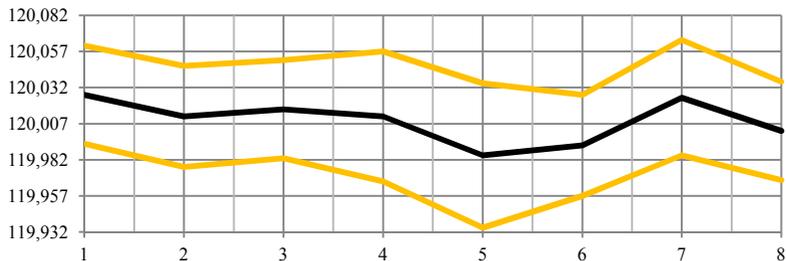


Figura 18 – Intervalos de confiança da média e da variância para o subintervalo 2 de C12.

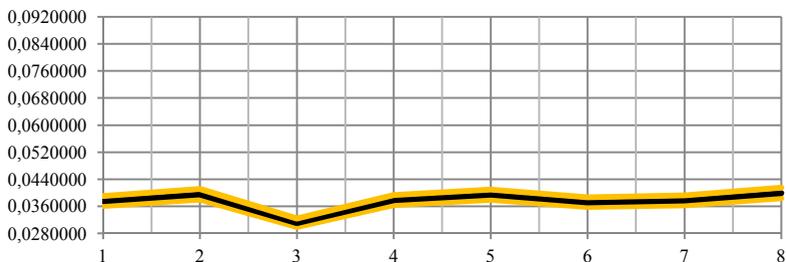
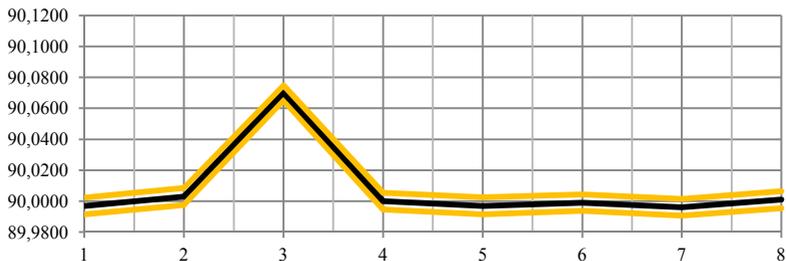


Figura 19 – Intervalos de confiança da média e da variância para o subintervalo 3 de C12.

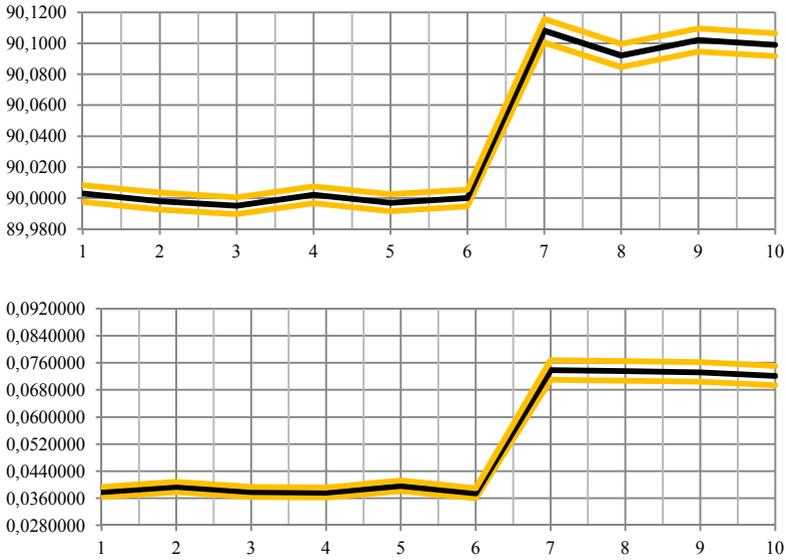


Figura 20 – Intervalos de confiança da média e da variância para o subintervalo 8 de C12.

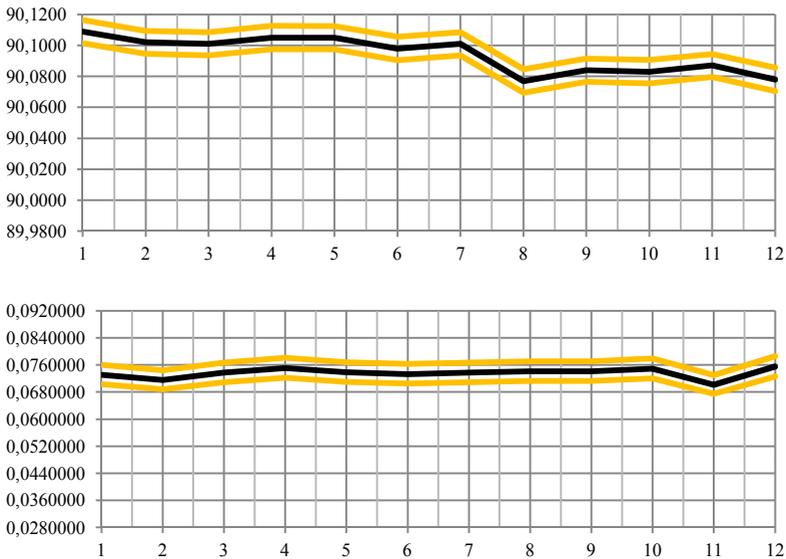
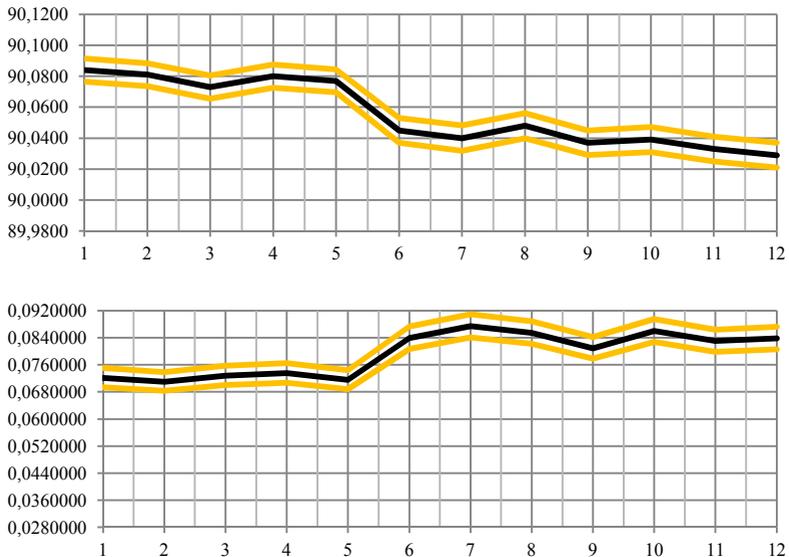


Figura 21 – Intervalos de confiança da média e da variância para o subintervalo 14 de C212.



Com estas novas análises foi possível estabelecer um questionamento: por que em  $C_{212}$  no decorrer dos intervalos de dados 3 e 14 aconteceram alterações sistemáticas nos intervalos de confiança? Este questionamento não é decorrente de resultados de testes de hipóteses, mesmo que isto fosse o ideal. O grupo de trabalho fez o questionamento simplesmente a partir da análise dos gráficos. Segundo o grupo de pessoas, os resultados dos gráficos indicam que possíveis causas especiais estão gerando problemas de estabilidade em P2, o que podem ser as causas raízes dos problemas de não conformidade nos produtos finais. Com isso o grupo selecionou P2 como sendo o processo com mais oportunidades de melhorias, isto é, o grupo selecionou o projeto Seis Sigma de número 2 para ser implementado na unidade siderúrgica.

#### 4.2.4 Resultados práticos do estudo qualitativo de campo 2

Com este estudo qualitativo de campo, os principais resultados práticos para a organização foram a seleção e a implementação do projeto Seis Sigma relacionado ao processo de produção P2. Após a conclusão da implementação do projeto selecionado, buscou-se verificar

se os objetivos do projeto Seis Sigma foram atingidos, ou seja, após a implementação do projeto resumidamente os resultados foram: Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados do projeto Seis Sigma implementado.

<b>Variáveis</b>	<b>Resultados do projeto Seis Sigma implementado</b>
Número de <i>Black Belts</i>	participou 1
Número de <i>Green Belts</i>	participou 1
Duração do projeto	197 dias
Problema prático – considerando um período de 4 meses após o término da implementação	foi solucionado, pois apenas alguns produtos não conformes ainda foram produzidos
Efeitos da eliminação do problema prático para a organização – considerando um período de 4 meses após o término da implementação	as perdas monetárias com rescisão de contratos de fornecimento foram eliminadas; as perdas monetárias com refugos, retrabalhos e reposições de produtos foram reduzidas
Efeitos da eliminação do problema prático para o cliente – considerando um período de 4 meses após o término da implementação	interrupção nos processos de produção dos clientes não ocorreram no período considerado
Retorno financeiro – igualmente considerando um período de 4 meses	23.740 dólares – superando o esperado para o primeiro quadrimestre
Investimento financeiro total para a conclusão do projeto	15.730 dólares – ou seja, abaixo do orçamento inicialmente previsto
Impacto do projeto no planejamento estratégico da organização	o projeto foi implementado e os resultados impactam diretamente no planejamento estratégico da organização
Impacto no nível sigma – igualmente considerando um período de 4 meses	diminuição média de 227 defeitos por milhão de oportunidades

De tal modo, pode-se afirmar que o projeto Seis Sigma selecionado foi o correto, pois os resultados práticos após a implementação do projeto mostram que os objetivos foram atingidos e até mesmo superados em alguns pontos, conforme os resultados apresentados na Tabela 7. Um ponto negativo nos resultados é a impossibilidade de se compará-los com outros resultados teóricos, pois a literatura consultada para esta tese não apresenta pesquisas semelhantes.

### 4.3 ESTUDO QUALITATIVO DE CAMPO 3

Este terceiro estudo qualitativo de campo foi realizado em uma unidade industrial fornecedora de peças automotivas na Alemanha, pertencente ao maior grupo fornecedor de sistemas elétricos para automóveis no mundo. Nesta pesquisa do tipo estudo de caso também foi possível descrever o processo de seleção de projetos Seis Sigma a partir das práticas utilizadas na organização.

### 4.3.1 Objetivo do estudo qualitativo de campo 3

O objetivo aqui é o mesmo dos outros estudos qualitativos de campo, isto é, apresentar o processo de seleção de projetos Seis Sigma adotado no caso prático, bem como, apresentar as variáveis críticas consideradas. No estudo de campo priorizaram-se projetos Seis Sigma dentre catorze propostos por *Green Belts* da unidade industrial.

### 4.3.2 Processo de seleção e variáveis críticas do estudo 3

Em relação a este caso prático o processo de seleção de projetos Seis Sigma utilizado baseia-se em uma priorização de projetos a partir de algumas variáveis críticas definidas por especialistas em Seis Sigma na organização. O processo pode ser descrito resumidamente no Quadro 13.

Foram consideradas três variáveis críticas no processo de seleção do projeto Seis Sigma, sendo elas: 1. Custo do projeto; 2. Retorno financeiro; 3. Melhoria no nível sigma.

Quadro 13 – Descrição resumida do processo de seleção do estudo 3.

Nº	Atividade
1	Reunião com duração aproximada de 5 horas com um Diretor e três <i>Green Belts</i>
1.1	Identificação dos projetos candidatos a participar da seleção
1.2	Identificação das variáveis críticas para a seleção a partir de uma análise da quantidade de dados disponíveis para cada projeto Seis Sigma
1.3	Análise dos parâmetros de cada projeto candidato de acordo com as variáveis críticas
2	Reunião com duração aproximada de 2 horas com as mesmas pessoas envolvidas na reunião anterior
2.1	Revisão e nova análise dos parâmetros de cada projeto candidato de acordo com as variáveis críticas
2.2	Decisão pelos projetos baseando-se nas análises realizadas

As razões por terem sido consideradas três variáveis críticas foram expostas pelo grupo de pessoas que desenvolveram a seleção: em resumo, foi justificado que todos os projetos Seis Sigma são elaborados de modo a impactar positivamente na estratégia organizacional, na satisfação do consumidor, na redução de custos por má qualidade e na produtividade. De tal modo, a decisão baseou-se no custo do projeto, no retorno financeiro e na melhoria do nível sigma (que está diretamente relacionado à redução de não conformidades no processo).

### 4.3.3 Pesquisa aplicada do estudo 3

A demanda por selecionar/priorizar projetos Seis Sigma para implementação se deu por parte dos gestores da qualidade na unidade industrial fornecedora de peças automotivas. Catorze projetos foram apresentados, dos quais dois ou três seriam implementados dependendo do porte dos projetos que seriam priorizados. Por esta razão, demandou-se uma priorização de projetos e não a seleção de um, dois ou três projetos.

#### 4.3.3.1 Contextualização: apresentação dos projetos Seis Sigma

O resumo das variáveis críticas de cada projeto Seis Sigma está apresentado na Tabela 8. A variável crítica “melhoria no nível sigma” tem uma projeção de diminuição de pelo menos “x” DPMO (defeitos por milhão de oportunidades).

Tabela 8 – Os projetos Seis Sigma e respectivas variáveis críticas.

<b>Projeto Seis Sigma</b>	<b>Variável crítica: custo do projeto em dólares</b>	<b>Variável crítica: retorno financeiro em dólares ao bimestre</b>	<b>Variável crítica: melhoria no nível sigma (projeção de diminuição de pelo menos) em DPMO</b>
1	28.468	95.381	165
2	17.742	70.240	141
3	36.836	98.200	206
4	16.401	74.215	184
5	20.728	85.079	190
6	21.752	86.026	173
7	26.263	88.851	122
8	31.505	97.052	181
9	16.673	68.744	127
10	22.854	84.560	139
11	20.650	83.267	157
12	30.618	92.354	150
13	28.952	83.513	168
14	22.259	80.017	172

#### 4.3.3.2 Definição do processo de seleção de projetos Seis Sigma a ser utilizado

O grupo responsável pela priorização dos projetos Seis Sigma procedeu uma análise relativa à disponibilidade de dados principalmente quantitativos nos projetos para buscar definir uma estratégia de seleção a ser utilizada. O grupo decidiu utilizar um processo não estruturado baseado em uma sequência de análises de estatística descritiva que pudessem evidenciar as mais relevantes oportunidades de melhoria na variável crítica melhoria no nível sigma.

Foram considerados dados relacionados aos subprocessos de produção dos quais os projetos faziam parte, pois os projetos Seis Sigma objetivavam a implementação de melhorias nestes respectivos subprocessos de produção. Em resumo, os projetos Seis Sigma estavam todos relacionados a melhorias pontuais em máquinas e equipamentos (injetoras, prensas, máquinas de solda, matrizes) que faziam parte dos processos de produção da unidade industrial.

#### 4.3.3.3 Processo de seleção de projetos Seis Sigma

No processo de priorização o grupo de profissionais buscou identificar os projetos Seis Sigma com mais oportunidades de melhoria considerando principalmente os dados históricos relacionados ao nível sigma para cada projeto. O grupo coletou dados para analisar as variáveis aleatórias relacionadas aos projetos, isto é, dados para 14 respectivas variáveis aleatórias. Cada variável aleatória foi analisada considerando os períodos característicos do processo de produção. Aqui se utilizou a estatística descritiva, sendo que para a condução das análises utilizou-se o *software* Excel. A partir destas análises foi possível identificar sistemáticas flutuações de variabilidade nos dados relacionados aos projetos Seis Sigma.

O grupo estabeleceu um *ranking* a partir dos resultados que mostraram as variabilidades nos conjuntos de dados para cada variável aleatória. Na Tabela 9 são apresentados os resultados do *ranking* para cada projeto, considerando os períodos característicos.

Para elaborar este *ranking* utilizou-se uma relação entre duas séries quantitativas, a primeira de 0 a 6 (relacionada ao nível sigma) e, a segunda de 1 a 10 (relacionada ao *ranking* de conversão comparativo).

O grupo considerou a média de níveis sigma por projeto para a formação do *ranking* como principal fator de decisão, isto é, para poder estabelecer a priorização dos projetos. Foi possível notar no estudo de

campo que este procedimento de seleção/priorização é prática comum no momento de selecionar projetos Seis Sigma nesta empresa. A justificativa apresentada pelo grupo é que possíveis causas especiais podem estar gerando problemas de estabilidade nos processos dos quais os dados históricos foram obtidos. Como o objetivo com os projetos Seis Sigma é reduzir variabilidade dos processos de produção, o grupo considera esta a melhor estratégia de seleção de projetos Seis Sigma.

Tabela 9 – Projetos Seis Sigma e níveis sigma por períodos característicos.

Período	Projeto													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	5	4	3	5	3	4	5	4	5	3	3	4	4	4
2	3	5	4	5	5	5	4	5	4	4	2	4	4	4
3	3	4	4	3	4	4	5	3	4	3	3	4	4	4
4	3	4	4	4	4	4	5	4	4	3	4	4	2	3
5	4	4	4	3	3	5	4	4	2	4	4	4	4	4
6	4	4	5	4	4	5	4	5	3	5	3	4	4	3
7	4	4	5	3	5	4	3	4	3	5	4	5	4	5
8	5	4	3	5	3	5	4	4	5	4	3	4	5	4
9	3	5	4	5	3	4	4	5	4	3	3	3	5	4
10	5	4	4	4	5	4	3	4	3	4	5	4	4	4
11	5	4	3	2	4	5	5	3	3	4	4	5	3	4
12	4	3	4	5	4	3	4	5	4	5	4	4	4	3
13	5	4	4	5	3	4	4	4	4	4	4	4	3	5
14	4	4	5	3	4	3	4	3	5	4	3	4	5	4
15	5	5	3	5	5	4	4	3	5	5	4	4	3	4
16	4	5	3	4	3	4	3	3	4	3	3	6	5	3
17	3	4	4	3	3	5	4	4	3	4	4	4	4	6
18	4	5	4	4	4	3	4	3	4	4	3	4	5	4
19	4	4	4	3	3	3	5	4	3	5	3	3	4	5
20	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	5	5	5	4
21	3	4	4	5	3	4	4	2	3	3	4	4	5	3
22	4	5	4	4	5	4	5	4	3	5	4	4	4	4
23	5	5	4	5	4	3	4	3	4	4	3	4	6	2
24	5	5	5	5	3	6	4	4	4	5	3	4	4	3
25	3	4	3	3	4	5	3	3	3	4	4	4	6	4
26	6	4	4	3	3	4	4	5	4	4	4	3	4	6
27	5	4	3	3	6	5	5	4	4	4	4	4	3	4
28	4	3	5	5	3	4	5	3	3	5	2	4	3	3
29	4	4	4	4	3	5	4	5	3	4	5	5	5	2
30	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	3	4	5	4
31	4	4	4	3	3	4	4	5	3	5	4	4	4	4
32	4	5	4	4	5	5	4	3	4	4	4	4	4	4
33	4	3	5	5	4	5	5	4	3	4	4	2	4	4
34	3	5	3	4	4	5	4	3	4	3	4	4	4	5
<i>Média</i>	4,06	4,21	3,94	4,00	3,82	4,24	4,12	3,79	3,68	4,06	3,62	4,03	4,18	3,91
<i>Desvio Padrão</i>	0,814	0,592	0,649	0,888	0,834	0,781	0,640	0,808	0,727	0,694	0,739	0,674	0,869	0,900
<i>Ranking</i>	9	13	6	7	4	14	11	3	2	9	1	8	12	5

Percebe-se que uma variável crítica teve maior peso no processo de seleção, ou seja, a variável melhoria no nível sigma. As outras (custo do projeto e retorno financeiro) são consideradas qualitativamente pelo grupo responsável pela seleção, em outras palavras, apenas para identificar projetos Seis Sigma economicamente inviáveis. Assim o grupo priorizou os projetos Seis Sigma a serem implementados na unidade industrial, em específico os projetos 11 e 9 respectivamente.

#### 4.3.4 Resultados práticos do estudo qualitativo de campo 3

Neste estudo qualitativo de campo os principais resultados práticos para a organização foram a priorização e a implementação de dois projeto Seis Sigma, Tabela 10.

Tabela 10 – Resultados dos projetos Seis Sigma implementados.

<b>Variáveis</b>	<b>Resultados do projeto Seis Sigma 11 implementado</b>
Número de <i>Black Belts</i>	participou 6
Número de <i>Green Belts</i>	participou 1
Duração do projeto	231 dias
Problema prático – considerando um período de 2 meses após o término da implementação	foi solucionado, pois a redução esperada de variabilidade do processo foi atingida
Retorno financeiro – igualmente considerando um período de 2 meses	83.606 dólares – superando o previsto inicialmente que era de 83.267
Investimento financeiro total para a conclusão do projeto	22.041 dólares – ou seja, acima do orçamento inicialmente previsto de 20.650
Impacto no nível sigma – igualmente considerando um período de 2 meses	diminuição média de 185 defeitos por milhão de oportunidades – superando o que foi previsto
<b>Variáveis</b>	<b>Resultados do projeto Seis Sigma 9 implementado</b>
Número de <i>Black Belts</i>	participou 5
Número de <i>Green Belts</i>	participou 2
Duração do projeto	207 dias
Problema prático – considerando um período de 2 meses após o término da implementação	foi solucionado, pois a variabilidade no processo foi reduzida conforme o projeto inicial
Retorno financeiro – igualmente considerando um período de 2 meses	70.332 dólares – superando o previsto inicialmente que era de 68.744
Investimento financeiro total para a conclusão do projeto	17.539 dólares – ou seja, acima do orçamento inicialmente previsto de 16.673
Impacto no nível sigma – igualmente considerando um período de 2 meses	diminuição média de 172 defeitos por milhão de oportunidades – superando o que foi previsto

Após a conclusão da implementação dos projetos selecionados, buscou-se verificar se os objetivos do projeto Seis Sigma foram

atingidos, ou seja, após a implementação do projeto resumidamente os resultados foram: Tabela 10.

Com estes resultados é possível verificar que os projetos Seis Sigma foram adequadamente priorizados e implementados, pois os resultados práticos após a implementação dos projetos mostram que os objetivos foram plenamente atingidos. Um ponto negativo a destacar nos resultados é a impossibilidade de se compará-los com outros resultados teóricos, pois a literatura consultada para este trabalho não apresenta pesquisas aplicadas semelhantes a esta.

#### 4.4 ESTUDO QUALITATIVO DE CAMPO 4

Este é o quarto e último estudo qualitativo de campo apresentado nesta tese, tendo sido realizado em uma unidade termoeletrica fornecedora de energia elétrica e de água quente para uma cidade na Alemanha. A capacidade da planta instalada é de 1.675 *megawatts* brutos ou 1.520 *megawatts* líquidos. A capacidade de aquecimento instalado (de água quente) é de cerca de 1.000 *megawatts* térmicos. Aqui, nesta pesquisa do tipo estudo de caso, também se apresentará um processo de seleção de projetos Seis Sigma, um processo não estruturado e baseado em análises técnicas de engenharia de processos.

##### 4.4.1 Objetivo do estudo qualitativo de campo 4

De modo análogo, o objetivo neste estudo é apresentar o processo de seleção e as variáveis envolvidas neste processo. A contribuição teórica é entender como quatro projetos Seis Sigma foram selecionados dentre sete apresentados pelos engenheiros da organização.

##### 4.4.2 Processo de seleção e variáveis críticas do estudo 4

Um processo de seleção de projetos Seis Sigma não estruturado foi utilizado no caso prático, processo este que se baseia em alguns critérios técnicos para selecionar projetos Seis Sigma de alta complexidade técnica em engenharia. Estes projetos são analisados por engenheiros com adequados conhecimentos técnicos e que podem determinar quais projetos são mais viáveis tecnicamente. Assim, o processo pode ser descrito resumidamente no Quadro 14.

Foi constatado no caso prático que na seleção dos projetos Seis Sigma *Black* e *Green Belts* podem participar do processo de seleção, no entanto, foi verificado que a seleção final dos projetos Seis Sigma é

realizada por engenheiros com conhecimentos técnicos buscando priorizar os projetos com maior potencial de redução de variabilidades nos processos.

Neste estudo apresentar-se-á um resumo do processo que seleciona projetos Seis Sigma sendo que as variáveis críticas que são utilizadas são relacionadas à variabilidade dos resultados de análises de laboratório que identificam teores de gás carbônico emitido nos processos de produção. Assim, basicamente são utilizadas variáveis críticas relacionadas aos resultados das análises laboratoriais, isto é, o nível sigma dos processos. Cabe ressaltar que as variáveis técnicas de engenharia variam de projeto para projeto, não podendo ser listadas aqui porque a divulgação destes dados não foi autorizada pela organização.

Quadro 14 – Descrição resumida do processo de seleção do estudo 4.

Nº	Atividade
1	Reunião com duração aproximada de 3,5 horas com 13 engenheiros sendo pelo menos um <i>Master Black Belt</i> , um <i>Black Belt</i> e três <i>Green Belts</i>
1.1	Apresentação dos sete projetos candidatos a participar da seleção
1.2	Apresentação das variáveis críticas para a seleção dos projetos Seis Sigma
1.3	Análise estatística de dados relacionados à variável crítica nível sigma de cada projeto
1.4	Discussão da análise estatística realizada
2	Reunião com duração aproximada de 3 horas com os mesmos 13 engenheiros que participaram da primeira reunião
2.1	Identificação de variáveis críticas técnicas de engenharia relacionadas aos projetos
2.2	Discussão destas variáveis técnicas sob o ponto de vista da complexidade de execução do projeto de engenharia
2.3	Identificação dos projetos de engenharia com maiores potenciais de melhoria, em especial, aqueles que mais impactam na redução de variabilidades nos processos de produção
2.4	Decisão por seleção dos quatro projetos Seis Sigma

As razões por ser considerada variável crítica do nível sigma foram expostas pelas pessoas que desenvolveram a seleção, isto é, utilizam estas variáveis justamente porque a redução de variabilidade no processo é o principal escopo de implementarem-se projetos Seis Sigma.

#### 4.4.3 Pesquisa aplicada do estudo 4

Neste estudo de campo a demanda por selecionar projetos Seis Sigma é uma prática anual da empresa, fazendo parte do programa de

melhoria de processos da organização. Sete projetos foram apresentados, dos quais quatro seriam selecionados a partir de análises de engenheiros com conhecimento técnico adequado, uma vez que são projetos grandes e complexos.

#### 4.4.3.1 Contextualização: apresentação dos projetos Seis Sigma

Os sete projetos Seis Sigma considerados aqui são complexos e referem-se a reduções de variabilidade dos processos que filtram os gases resultantes dos processos de uma termoelétrica. Em específico, estes processos de filtragem de gases fazem parte da unidade que produz aquecimento para a rede de aquecimento urbano de uma cidade alemã. O aquecimento é produzido exclusivamente do princípio da produção combinada de calor e eletricidade, uma tecnologia para reduzir as emissões de gás carbônico. A redução estimada na cidade é de cerca de 290.000 toneladas de emissões de gás carbônico ao ano.

A vantagem deste processo é a minimização de calor desperdiçado para o ambiente. Embora este processo leve a uma menor eficiência de energia elétrica, aumenta significativamente a eficiência dos combustíveis utilizados no processo.

O aquecimento de vapor especial aquecido a 130° Celsius movimenta turbinas de geração de energia elétrica em um permutador de calor. Esta água flui sob pressão pelo sistema de alimentação com isolamento térmico para os consumidores, onde se transfere a sua energia calorífica que flui de volta para a usina.

Assim, melhorias nestes processos de redução de emissões de gás carbônico requer um avançado conhecimento técnico da engenharia deste sistema. De tal modo, os projetos Seis Sigma são selecionados com base nas variáveis críticas de uma série de variáveis de projeto.

Neste estudo apresentar-se-á o nível sigma global de cada projeto e o custo estimado de cada projeto, bem como a redução de emissões de gás carbônico estimadas após a implementação dos projetos. O resumo das variáveis críticas de cada projeto Seis Sigma está apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 – Os projetos Seis Sigma e respectivas variáveis críticas.

<b>Projeto Seis Sigma</b>	<b>Variável crítica: custo do projeto em dólares</b>	<b>Variável crítica: redução de emissões de gás carbônico em toneladas ao ano</b>	<b>Variável crítica: nível sigma global do processo de produção</b>
<b>1</b>	146.270	3.100	4,625
<b>2</b>	200.955	4.000	4,250
<b>3</b>	204.178	4.750	3,875
<b>4</b>	153.462	3.500	4,750
<b>5</b>	139.843	2.000	3,750
<b>6</b>	162.421	3.450	4,375
<b>7</b>	185.814	5.000	4,500

#### 4.4.3.2 Definição do processo de seleção de projetos Seis Sigma a ser utilizado

A seleção dos projetos Seis Sigma é realizada pelo grupo responsável pela implementação dos projetos Seis Sigma considerando dados de variáveis aleatórias de processos de redução de emissões de gás carbônico, processos os quais cada um dos sete projetos está relacionado. O grupo utiliza análises de estatística descritiva que podem evidenciar os processos com maior variabilidade. Na sequência são analisados variáveis técnicas de engenharia dos processos, isto é, de que maneiras os processos podem ser melhorados ao substituírem-se determinados equipamentos nos processos.

#### 4.4.3.3 Processo de seleção de projetos Seis Sigma

No estudo verificou-se que o processo de priorização buscou identificar os projetos Seis Sigma com mais oportunidades de melhoria considerando o nível sigma para cada projeto e principalmente as variáveis técnicas de engenharia do processo. Trata-se portanto de um processo de seleção baseado em dados quantitativos que são tratados por análises estatísticas e por comparações diretas de variáveis aleatórias de engenharia, não sendo utilizados modelos matemáticos para a seleção.

O grupo de engenheiros a partir das análises selecionou quatro projetos Seis Sigma, em específico os projetos 1, 3, 5, 6. Um detalhe a ser ressaltado no processo de seleção dos projetos é o fato do custo de cada projeto não ter sido decisivo na tomada de decisão, tão pouco o retorno financeiro de cada projeto Seis Sigma. Os projetos estão ligados à estratégia da organização em diminuir as emissões de gás carbônico resultante dos processos de produção.

#### 4.4.4 Resultados práticos do estudo qualitativo de campo 4

Os principais resultados deste estudo de campo para a organização foram a seleção e a implementação de quanto projeto Seis Sigma. Após a conclusão da implementação dos projetos selecionados, buscou-se verificar se os objetivos do projeto Seis Sigma foram atingidos, ver resumidamente os resultados na Tabela 12.

Em uma inferência qualitativa a partir dos resultados pode-se afirmar que os projetos Seis Sigma foram adequadamente selecionados e implementados, pois os resultados práticos dos projetos mostram que os objetivos foram atingidos.

Tabela 12 – Resultados dos projetos Seis Sigma implementados.

<b>Variáveis</b>	<b>Resultados do projeto Seis Sigma 1 implementado</b>
Duração do projeto	130 dias
Estimativa de redução de emissões de gás carbônico (análises laboratoriais)	260 toneladas ao mês – de acordo com o que foi planejado
Impacto no nível sigma – considerando um período de 1 meses	Melhoria para um nível sigma de 4,875
<b>Variáveis</b>	<b>Resultados do projeto Seis Sigma 3 implementado</b>
Duração do projeto	115 dias
Estimativa de redução de emissões de gás carbônico (análises laboratoriais)	395 toneladas ao mês – de acordo com o que foi planejado
Impacto no nível sigma – considerando um período de 1 meses	Melhoria para um nível sigma de 4,500
<b>Variáveis</b>	<b>Resultados do projeto Seis Sigma 5 implementado</b>
Duração do projeto	118 dias
Estimativa de redução de emissões de gás carbônico (análises laboratoriais)	165 toneladas ao mês – de acordo com o que foi planejado
Impacto no nível sigma – considerando um período de 1 meses	Melhoria para um nível sigma de 4,625
<b>Variáveis</b>	<b>Resultados do projeto Seis Sigma 6 implementado</b>
Duração do projeto	167 dias
Estimativa de redução de emissões de gás carbônico (análises laboratoriais)	290 toneladas ao mês – superando o que foi planejado
Impacto no nível sigma – considerando um período de 1 meses	Melhoria para um nível sigma de 4,750

Os resultados obtidos não puderam ser comparados com outros resultados teóricos, pois a literatura consultada para este trabalho não apresenta pesquisas aplicadas semelhantes à apresentada nesta seção.

## 4.5 ESTUDO QUANTITATIVO DE CAMPO

Este estudo quantitativo de campo foi realizado tendo-se como amostra da pesquisa *survey* organizações instaladas no Brasil. Detalhes dos procedimentos metodológicos desta pesquisa (incluindo as definições da população e da amostra) foram apresentados no subcapítulo 3.3 deste texto.

### 4.5.1 Objetivo do estudo quantitativo de campo

Deste modo, o objetivo deste estudo é identificar quais são os processos de seleção de projetos Seis Sigma mais utilizados, bem como, quais são as variáveis críticas mais utilizadas nestes processos de seleção, considerando para isto, uma amostragem de organizações instaladas no Brasil.

No próximo subcapítulo estão apresentados os resultados da pesquisa *survey*. Estes resultados também são considerados para a proposta do modelo de seleção objetivo desta tese.

### 4.5.2 Resultados práticos do estudo quantitativo de campo

Primeiramente foram observadas as tabelas de frequência para cada uma das questões aplicadas. As Figuras 22, 23, 24 e 25, bem como as Tabelas 13 até 20, apresentam as frequências com que cada resposta foi atribuída em cada questão. Cabe destacar que, quando necessário, explicações e orientações extras eram apresentadas por escrito ao lado da questão proposta ao respondente; estas inserções extras não estão apresentadas neste texto.

Tabela 13 – A organização (ou unidade, ou filial) comercializa (ou produz) predominantemente.

<b>Resposta</b>	<b>Frequência</b>	<b>%</b>	<b>% Acumulada</b>
Bens duráveis	29	61	61
Bens não duráveis	16	33	94
Serviços	3	6	100
Total	48	100	

Figura 22 – Ano em que a organização (ou unidade, ou filial) concluiu o primeiro projeto Seis Sigma.

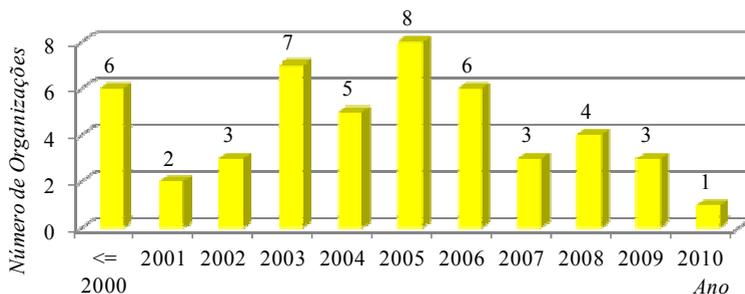


Tabela 14 – A organização (ou unidade, ou filial) descontinuou quantas vezes a estratégia Seis Sigma.

Resposta	Frequência	%	% Acumulada
0	43	90%	90%
1	4	8%	98%
2	1	2%	100%
3	0	0%	100%
4 ou mais	0	0%	100%
Total	48	100%	

Figura 23 – Em média, quantos projetos Seis Sigma são concluídos por ano.

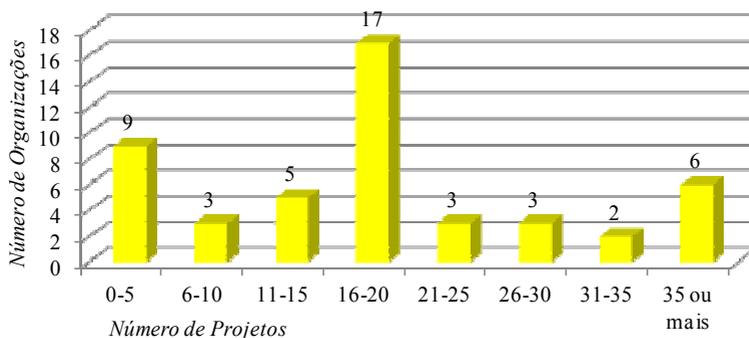


Figura 24 – Em média, quantos projetos Seis Sigma são elaborados por ano.

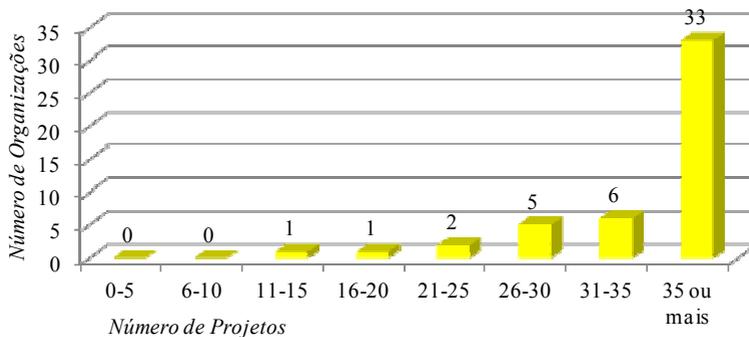


Tabela 15 – A organização (ou unidade, ou filial) utiliza algum método de seleção de projetos Seis Sigma.

Resposta	Frequência	%	% Acumulada
Sim, todas as vezes	47	98	98
Sim, na maioria das vezes	1	2	100
Sim, na minoria das vezes	0	0	100
Não	0	0	100
Total	48	100	

Figura 25 – Em média, quantos projetos Seis Sigma são considerados no processo de seleção.

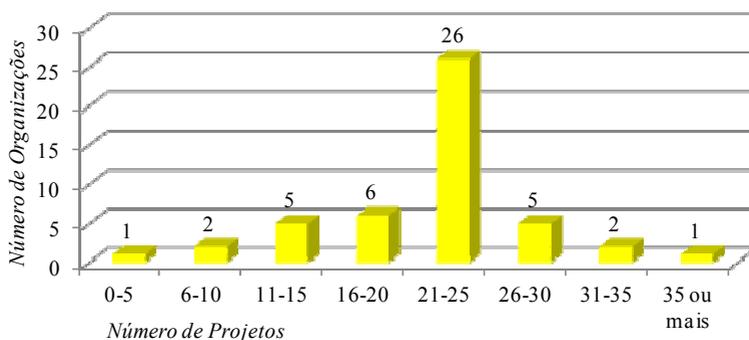


Tabela 16 – A organização (ou unidade, ou filial) utiliza algum método matemático para selecionar projetos Seis Sigma.

<b>Resposta</b>	<b>Frequência</b>	<b>%</b>	<b>% Acumulada</b>
Sim, todas as vezes	11	23	23
Sim, na maioria das vezes	15	31	54
Sim, na minoria das vezes	21	44	98
Não	1	2	100
<b>Total</b>	<b>48</b>	<b>100</b>	

Tabela 17 – Nesta organização (ou unidade, ou filial) um novo método de seleção de projetos Seis Sigma é uma necessidade atual.

<b>Resposta</b>	<b>Frequência</b>	<b>%</b>	<b>% Acumulada</b>
Sim, para todos os casos	6	13	13
Sim, para a maioria dos casos	13	27	40
Sim, para a minoria dos casos	26	54	94
Não	3	6	100
<b>Total</b>	<b>48</b>	<b>100</b>	

Tabela 18 – Assinale os métodos de seleção de projetos Seis Sigma mais utilizados na organização (ou unidade, ou filial).

<b>Resposta</b>	<b>Frequência</b>	<b>%</b>
Matrizes de priorização	47	98
Diagrama de Pareto	38	79
Seleções baseadas na opinião de especialistas	32	67
Análises estatísticas	32	67
Análises de processos	25	52
Teoria das restrições	13	27
FMEA	9	19
AHP (Analytic Hierarchy Process)	6	13
QFD	5	10
Outros	5	10
<b>Total</b>	<b>212</b>	<b>100</b>

Tabela 19 – Variáveis mais utilizadas na seleção de projetos Seis Sigma na organização (ou unidade, ou filial).

<b>Resposta</b>	<b>Frequência</b>	<b>%</b>
Custos do projeto	47	98
Duração do projeto	47	98
Melhoria no nível sigma	47	98
Impacto na estratégia organizacional	45	94
Impacto financeiro (custo da má qualidade)	42	88
Número de <i>Green Belts</i>	38	79
Satisfação do consumidor	38	79
Número de <i>Black Belts</i>	24	50
Crescimento da produtividade	21	44
Outras	7	15
Não respondeu	1	2
<b>Total</b>	<b>357</b>	

Tabela 20 – Baseando-se no histórico de seleção de projetos Sis Sigma na organização (ou unidade, ou filial) qual tipo de método novo de seleção seria mais interessante.

<b>Resposta</b>	<b>Frequência</b>	<b>%</b>	<b>% Acumulada</b>
Método misto	34	71	71
Método puramente matemático	10	21	92
Método puramente baseado na experiência das pessoas	4	8	100
Total	48	100	

Em um segundo momento passou-se a analisar as relações entre as categorias de respostas utilizando o teste de Qui-Quadrado. O teste de Qui-Quadrado mostra se existem relações significativas entre as categorias de questões, e isto quando a significância do teste (p) for igual ou menor à 0,05. Adicionalmente, em alguns cruzamentos, foi necessário agrupar categorias de respostas em função do excesso de zeros em posições das tabelas utilizadas nos testes. Como resultado de todos os testes realizados, nenhum cruzamento mostrou significância estatística.

#### **4.5.3 Considerações finais do estudo quantitativo de campo**

Pode-se verificar com a pesquisa que no período dos anos de 2003 a 2006 teve-se o maior número de organizações efetivamente obtendo os primeiros resultados com a estratégia Seis Sigma, 55% da amostra (ver subcapítulo 3.3). Outro dado importante é o fato de algumas organizações terem descontinuado a estratégia Seis Sigma por certo período. Na realidade, esta questão foi inserida apenas para verificar uma possível correlação com outras questões. Pelo número médio de projetos Seis Sigma que são concluídos por ano, pode-se verificar que a maioria das organizações que fazem parte da amostra é de médio e grande porte.

Verificou-se ainda na pesquisa que as organizações elaboram um número médio maior de projetos por ano do que o número médio de projetos concluídos por ano. Isto mostra que as organizações necessitam de algum modo, selecionar alguns projetos de um portfólio. Isto foi confirmado com outra questão que apontou que 98% da amostra utilizam algum método de seleção de projetos Seis Sigma em todas às vezes. Outra questão mostrou que 54% da amostra, em média, consideram entre 21 e 25 projetos no momento de selecionar projetos Seis Sigma.

Pode-se concluir, para a amostra considerada, que apenas 2% das organizações não utilizam um método matemático para selecionar projetos Seis Sigma e que 54% das organizações utilizam sempre (ou na maioria das vezes) algum método matemático para selecionar projetos Seis Sigma. Na identificação de quais são os métodos de seleção de projetos Seis Sigma mais utilizados nas organizações, pode-se verificar uma frequência alta assinalada para os métodos mistos de seleção, como as matrizes de priorização.

Outro resultado relevante foi que 81% da amostra consideram como uma necessidade atual um novo método de seleção de projetos Seis Sigma, no entanto, 54% consideram esta necessidade atual para a minoria dos casos de seleção. Conclui-se que existe uma necessidade significativa de um novo método de seleção de projetos Seis Sigma, para amostra, que também apontou baseando-se em seus históricos, que este novo método deva ser um método misto, que inclui os métodos quantitativos e qualitativos.

Algumas variáveis foram identificadas como críticas no processo de seleção de projetos Seis Sigma nestas 48 organizações brasileiras, em sua maioria, produtoras de bens de consumo duráveis e não duráveis. Foi possível identificar que os custos do projeto (98%), a duração do projeto (98%), a melhoria no nível sigma (98%), o impacto na estratégia organizacional (94%) e o impacto financeiro (custo da má qualidade) (88%) são as variáveis críticas (mais utilizadas) no processo de seleção de projetos Seis Sigma. As demais variáveis colocadas como opções foram menos assinaladas pelos respondentes. Um dado relevante é que apenas sete respondentes assinalaram a opção “Outras” variáveis, mostrando que de fato as variáveis selecionadas para o questionário são as mais utilizadas (conforme apontado no referencial bibliográfico apresentado no capítulo do suporte teórico).

E por último, com os cruzamentos concluiu-se que não houve influência estatística nos cruzamentos das questões.

#### 4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Para facilitar o entendimento dos resultados relacionados às questões de pesquisa para os estudos de campo apresentados neste capítulo, elaborou-se o Quadro 15, que traz uma síntese das constatações obtidas.

Logo, o que se pode verificar analiticamente é que são utilizadas diferentes estratégias (processos) para se selecionar projetos Seis Sigma. Isto é, tanto processos puramente subjetivos (baseado na experiência e

conhecimento das pessoas), como processos puramente objetivos (modelos matemáticos), como mistos (envolvendo os dois primeiros citados nesta frase). Adicionalmente foi constatado que nestes casos práticos diferentes variáveis de projeto são consideradas como variáveis críticas de decisão nos processos de seleção de projetos Seis Sigma. Foi verificado que os processos de seleção utilizados, de modo geral, são simplificados e não estruturados. Cada uma das informações obtidas nos estudos de campo serviu de subsídio prático para o desenvolvimento do modelo de seleção, objetivado nesta tese.

Os estudos de caso evidenciaram que os processos de seleção abordados possuem uma característica peculiar: não utilizam modelos matemáticos complexos na seleção dos projetos. O que se percebe aqui são situações bem caracterizadas, isto é, busca-se entender os projetos Seis Sigma de forma mais qualitativa. Em outras palavras, entender como o projeto irá contribuir para o planejamento estratégico da organização. De modo análogo, nos estudos de caso quando foram utilizados dados quantitativos, o intuito era identificar as melhores oportunidades de melhoria e para tanto, eram utilizados dados históricos de processos e subprocessos, dos quais os projetos Seis Sigma estavam relacionados.

Ao se fazer uma comparação das organizações brasileiras e alemãs estudadas, vale listar algumas diferenças nos processos de seleção presenciados pelo autor deste trabalho: 1. Nas empresas alemãs foi buscado constantemente ampliar o número de dados históricos atualizados para cada variável crítica; 2. Na Alemanha, as reuniões foram mais curtas e objetivas; 3. Na Alemanha, a experiência de pessoas mais velhas era priorizada.

Nos casos estudados em ambos os países, vale listar também as principais similaridades: 1. Todos envolvidos priorizaram o impacto na satisfação do cliente e no planejamento estratégico; 2. As reuniões foram todas formais, com atas de registro das principais decisões tomadas; 3. Todos envolvidos mostraram-se imparciais quanto a autoria dos projetos; 4. Ficou evidente a elevada responsabilidade das pessoas no processo de decisão pelos projetos Seis Sigma prioritários.

Pôde-se notar que as seleções de projetos realizadas nos estudos qualitativos de campo foram adequadas, pois os objetivos práticos dos projetos foram atingidos. Portanto, o método utilizado foi satisfatório, surgindo então uma questão, por que deveria ser definido um novo modelo de seleção?

Como resposta a isto tem-se quatro argumentos. Primeiro, nestes quatro casos as seleções foram satisfatórias, mas poderiam não ter sido,

pois existem itens a otimizar em cada método utilizado, como por exemplo, a padronização da subjetividade envolvida, isto é, criação de padrões relacionados aos dados qualitativos envolvidos. Segundo, as seleções realizadas nos casos práticos envolveram subjetividade, e uma decisão/escolha subjetiva depende muito de quem a faz, isto é, padronizar informações qualitativas é fundamental.

Quadro 15 – Síntese dos resultados obtidos nas pesquisas de campo.

<b>Questão →</b>	<b>Como é realizada a seleção de projetos Seis Sigma?</b>	<b>Quais são as variáveis críticas para esta seleção de projetos Seis Sigma?</b>	<b>Quantos projetos são considerados nesta seleção?</b>	<b>Quantos projetos Seis Sigma são selecionados?</b>
Estudo de campo qualitativo 1	Método puramente baseado na experiência das pessoas.	Custos do projeto; Satisfação do consumidor; Impacto na estratégia organizacional; Melhoria no nível sigma; Impacto financeiro.	6 projetos.	1 projeto.
Estudo de campo qualitativo 2	Método misto baseado em uma sequência de análises estatísticas básicas de dados históricos.	Melhoria no nível sigma.	2 projetos.	1 projeto.
Estudo de campo qualitativo 3	Método misto baseado em análises estatísticas básicas e tabela de priorização.	Custo do projeto; Retorno financeiro; Melhoria no nível sigma.	14 projetos.	2 projetos.
Estudo de campo qualitativo 4	Método misto baseado principalmente na experiência de engenheiros de processo.	Variáveis técnicas relacionadas à engenharia do processo de produção.	7 projetos.	4 projetos.
Estudo de campo quantitativo	54% das organizações utilizam sempre (ou na maioria das vezes) algum método matemático	Custos do projeto (98%); Duração do projeto (98%); Melhoria no nível sigma (98%); Impacto na estratégia organizacional (94%); Impacto financeiro (custo da má qualidade) (88%).	54% da amostra, em média, consideraram entre 21 e 25 projetos no momento de selecionar projetos Seis Sigma.	Não foi questionado aos respondentes.

Terceiro argumento, os casos estudados não chegaram a ser complexos, podendo, assim, permitir certo grau de evidência nas respostas obtidas, mas isso não é regra geral em seleção de projetos Seis Sigma, ao contrário, é quase exceção. Quarto argumento, que é o mais importante, é a literatura qualificada que defende a existência de uma demanda latente por novos modelos de seleções de projetos Seis Sigma. Isto é, não foram estes casos práticos que motivaram a proposição de um novo modelo, mas sim, baseou-se nestes casos práticos para se propor o modelo que é uma demanda apresentada na literatura qualificada. Nos casos práticos as seleções foram satisfatórias, ótimo, por isso são casos bons para serem utilizados como base para a proposição do modelo objetivo geral desta tese.

No que tange a pesquisa *survey*, os resultados obtidos assemelham-se aos resultados dos estudos de caso. Para a maior parte da amostra se identificou que o método (processo) de seleção mais utilizado é o misto, onde se tem o processo de decisão baseado em informações qualitativas e quantitativas.

Com isso, se concluiu nesta etapa da tese que a seleção de projetos Seis Sigma precisa ser tratada como um processo relativo à natureza dos dados disponíveis. Definir um modelo matemático, ou um método estruturado, aplicável a todas as seleções de projeto Seis Sigma não é tarefa muito fácil. Por exemplo, para a seleção de projetos relacionados a processos de produção com poucos dados quantitativos, modelos matemáticos complexos podem se tornar inviáveis. Neste caso, certo grau de subjetividade na seleção será o mais adequado.

De fato, após uma análise da literatura qualificada, identificou-se que os profissionais da indústria costumam usar abordagens subjetivas na seleção e priorização de projetos de melhoria, ora em maior, ora em menor grau, como exemplo, cabe citar Kornfeld e Kara (2013).

Assim, apresentar-se-á no Quadro 16 as lições geradas a partir das pesquisas de campo e que foram consideradas na proposta do modelo objetivo geral desta tese.

Quadro 16 – Lições geradas e que impactam na proposta do modelo.

Questão	Conclusões a partir das pesquisas de campo
Qual tipo de modelo de seleção de projetos Seis Sigma seria o ideal?	Um modelo mais simples, de fácil aplicação prática, pois modelos matemáticos complexos podem impactar negativamente no interesse das pessoas envolvidas em utilizar o respectivo modelo.
Certo grau de subjetividade estaria presente neste modelo?	Sim, os resultados práticos mostraram que a opinião derivada da experiência e do conhecimento das pessoas especializadas é fundamental em certo grau, estando isto, condicionado à natureza de dados disponíveis e respectivos pesos de importância destes dados para os projetos Seis Sigma candidatos.
Qual seriam as variáveis críticas para este modelo?	Não é possível fixar variáveis críticas, pois estas variam de caso para caso, podendo ser tanto de natureza quantitativa como qualitativa e, neste último caso, envolveria subjetividade no processo de seleção.
Qual seria o número de variáveis críticas para este modelo?	Não é possível firmar um número variáveis críticas, pois isto varia de caso para caso, podendo ser tanto em pequeno número (menos de três variáveis), como em maior número (de três até infinito).
Quais seriam as etapas do modelo?	Basicamente, os resultados mostraram que inicialmente são identificados os projetos e as variáveis críticas. Depois são coletados dados para estas variáveis críticas. Por último faz-se uma análise destes dados identificando-se quais seriam os projetos com mais oportunidades de melhoria.
Quais implicações adicionais ao modelo deveriam ser consideradas?	Fundamental que se incluam meios de priorização de variáveis críticas, isto é, atribuição de pesos.

Neste contexto, considerando as diferentes possibilidades de se selecionar um projeto Seis Sigma, esta tese busca contribuir com a proposição de um modelo de seleção considerando projetos com diferentes disponibilidades de variáveis aleatórias, sejam elas qualitativas ou quantitativas. O próximo capítulo traz este modelo proposto.

## 5 PROPOSTA DO MODELO

Neste capítulo é apresentada a proposta de um modelo de seleção de projetos Seis Sigma e, na sequência, é apresentada a proposta de um método de aplicação prática para auxiliar a utilização do modelo de seleção de projetos Seis Sigma. A proposta do método é importante porque a utilização prática do modelo proposto não é intuitiva, mas depende de um processo planejado. Por isso, justifica-se o esforço para desenvolver um método prático, que garanta adequado emprego do modelo proposto. Por último, será apresentado um plano de experimentos que foi aplicado para simular o desempenho do modelo a partir de diferentes variáveis aleatórias de entrada.

### 5.1 MODELO DE SELEÇÃO DE PROJETOS SEIS SIGMA

Para propor um modelo de acordo com o objetivo geral desta tese considerou-se como elementos de partida o suporte teórico e prático descritos. Versando os pontos em comuns das situações observadas nos casos práticos abordados quanto à natureza dos dados, é evidente que estas características comuns impactaram decisivamente sobre a maneira como se desenvolveu o modelo. De fato, identificou-se a necessidade de propor-se um modelo que envolva séries quantitativas e qualitativas.

Segundo Fleury (2008), o Engenheiro de Produção deve ser capaz de desenvolver modelos que sejam utilizados para subsidiar os processos de tomada de decisões nos sistemas de produção. Para o autor, um modelo constitui uma representação simplificada de uma determinada realidade, sendo que são utilizados na Engenharia de Produção para resolver problemas complexos encontrados nas organizações. Os modelos podem ter subclassificações, sendo que uma proposta bem aceita é a apresentada por Moreira (2008), em que se têm três tipos de modelos: 1 - modelos icônicos; 2 - modelos analógicos; 3 - modelos matemáticos.

O modelo que será proposto pode caracterizar-se como um modelo matemático, que segundo Moreira (2008), é aquele modelo na qual as situações-problema ou as propriedades de um objeto são representadas por meio de símbolos e relações matemáticas. Um dos instrumentos mais importantes no trabalho do Engenheiro de Produção é o desenvolvimento de modelos que englobem as dimensões mais importantes de uma problemática e que gerem respostas para a adoção de decisões bem fundamentadas, problemática esta, em geral, complexa

demais para ser tratada a partir da intuição e da experiência (FLEURY, 2008).

### **5.1.1 Fatores de decisão pela teoria Grey para o modelo**

De acordo com o objetivo deste trabalho, desenvolveu-se um modelo de seleção que prioriza projetos Seis Sigma com maiores potenciais de retorno a partir de fatores de decisão pré-estabelecidos. Este modelo foi desenvolvido para considerar projetos com diferentes disponibilidades de variáveis aleatórias, isto é, desde projetos com poucas dezenas de dados quantitativos até projetos com milhares de variáveis aleatórias.

Estas características foram consideradas no modelo desenvolvido em função dos resultados dos estudos de campo apresentados no suporte prático desta tese. Os estudos de campo mostraram que as variáveis envolvidas em uma seleção de projetos Seis Sigma podem ser qualitativas e quantitativas, bem como, estarem disponíveis em maior ou menor número.

Em outras palavras, o modelo, para tornar-se prático e útil para mais casos reais, precisa abranger diferentes disponibilidades de dados em termos: 1. Do número de variáveis aleatórias; 2. Da quantidade de dados para cada variável aleatória; 3. Da natureza das variáveis aleatórias (qualitativas e quantitativas). De fato, o modelo poderá assumir um certo grau de subjetividade se alguma variável qualitativa for considerada, mas isso é inevitável para que o modelo possa ser prático e útil para mais casos reais.

O capítulo quatro desta tese mostrou resultados práticos que justificam o desenvolvimento de um modelo genérico e que inevitavelmente assuma subjetividade toda vez que variáveis qualitativas são consideradas no processo de seleção de projetos Seis Sigma. Se o modelo desenvolvido não assumisse a utilização de variáveis qualitativas, incorrer-se-ia o risco do modelo não ser utilizado em uma série de casos práticos reais.

Deste modo, o modelo desenvolvido aqui, buscou abranger as variáveis envolvidas na seleção de projeto Seis Sigma tanto qualitativamente como quantitativamente, pois podem ser consideradas séries quantitativas diretamente no modelo, como também podem ser consideradas séries qualitativas, desenvolvidas conforme as necessidades de cada caso.

Assim, o modelo proposto de seleção de projetos Seis Sigma trata-se de um método de priorização baseado na teoria Grey. A teoria

Grey tem um papel importante no contexto científico (ÇAKIR, 2008; CHEN e TING, 2002; CHEN et al., 2004; DAOWU et al., 2004; GUO e LOVE, 2005; LI, YAMAGUCHI e NAGAI, 2007; ROOS e ROSA, 2008; WANG, LIN e HU, 2007; XIZHE et al., 2004; YUEHUA e WEI, 2008; ZHANG e CHEN, 2004).

Utilizou-se a teoria Grey justamente por ser um método de base quantitativa comumente utilizado na tomada de decisões. No entanto, cabe ressaltar que o modelo proposto nesta tese não é uma simples e direta aplicação da teoria Grey, mas vai além disto, conforme será mostrado no subcapítulo 5.1.3. De fato, utilizou-se a lógica da teoria Grey como base para fazer-se um exame de similaridade de cada variável aleatória com uma solução ideal para cada cenário de seleção de projeto Seis Sigma.

Importante ressaltar algumas fragilidades dos demais métodos de seleção de projetos Seis Sigma apresentados no suporte teórico desta tese (subcapítulo 2.3.1), fato que acabou por conduzir à proposta do modelo de seleção baseado na teoria Grey. Em resumo as principais fragilidades são dificuldades para alterações no número de variáveis aleatórias e na quantidade de dados para cada variável aleatória, bem como, dificuldades para utilização de dados de natureza qualitativa e quantitativa de modo simultâneo. Outra fragilidade é a impossibilidade de atribuição de pesos às variáveis críticas. De todo modo, estas fragilidades não estão todas presentes em cada um dos demais métodos, mas sim, ora em um, ora em outro método.

Assim, a teoria Grey contribui de forma substancial para na proposição do modelo de seleção nesta tese. Um suporte teórico básico com definições sobre este tema é apresentado no subcapítulo seguinte.

### **5.1.2 Definições sobre a teoria Grey para o modelo**

A teoria Grey foi iniciada em 1982 e ganhou repercussão com o artigo de Julong (1989) em um periódico específico no Reino Unido sobre a teoria Grey, chamado *The Journal of Grey System*. A teoria Grey (ou análise de relação Grey) é uma técnica muito utilizada para auxiliar na tomada de decisões. Ideal para os ambientes de incertezas e para situações com séries de atributos.

Com a teoria Grey aplicada na tomada de decisão faz-se um exame de similaridade de cada alternativa (variável aleatória) com uma solução ideal. A teoria baseia-se no nível de similaridade e variabilidade entre todas as variáveis aleatórias para estabelecer sua relação (JULONG, 1989). Assim, a análise relacional sugere como tomar

decisões por meio da priorização. Aplicações da teoria Grey podem ser encontradas em diferentes áreas da ciência, ver por exemplo: Bonanomi (2010), Leephakpreeda (2008), HE et al. (2008), Wang e Hsu (2008), Wei e Chung (2003).

Dois trabalhos relevantes a consultar são: 1. Julong (1989) para o entendimento da teoria Grey, justificativas e deduções de fórmulas matemáticas; 2. Liu, Forrest e Yang (2012) para o entendimento dos conceitos elementares e dos princípios fundamentais da teoria Grey, bem como, para o entendimento do progresso que a teoria Grey fez no processo de aprendizagem e suas aplicações amplas em todo o espectro da ciência. Este último trabalho está publicado em outro periódico específico sobre a teoria Grey, chamado de Grey Systems: Theory and Application, de uma comunidade de pesquisadores da respectiva área.

### 5.1.3 Modelo proposto

O modelo foi desenvolvido com o auxílio do *software* Maple®, versão 14, por ser uma ferramenta de modelagem ideal para este contexto. Trata-se de um sistema algébrico computacional comercial de uso genérico, constituindo um ambiente para a computação de expressões algébricas e simbólicas (HECK, 2003).

No modelo desenvolvido/proposto, a priorização é feita por meio de uma mensuração para verificar a relação entre séries qualitativas e/ou quantitativas, onde os componentes das séries devem estar de acordo com algumas características pré-definidas. O modelo desenvolvido baseia-se em uma sequência de passos para se chegar a um *ranking* de priorização de projetos Seis Sigma.

#### *Primeiro Passo*

Inicia-se com o estabelecimento de séries de decisão inicial, que são representadas por uma matriz (equação 3), onde:  $\tau_{ij}$  é a variável aleatória base de interesse  $j$  para o projeto Seis Sigma  $i$  (com  $i$  variando de 1 a  $n$ ;  $j$  variando de 1 a  $m$ ;  $\mathbf{D}$  é a matriz de decisão inicial.

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} \tau_{11} & \tau_{12} & \cdots & \tau_{1m} \\ \tau_{21} & \tau_{22} & \cdots & \tau_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tau_{n1} & \tau_{n2} & \cdots & \tau_{nm} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Esta matriz de decisão inicial pode ser originada não somente de séries quantitativas, mas também de séries qualitativas desenvolvidas para cada projeto Seis Sigma de acordo com as necessidades de cada caso específico. Cada uma das séries está relacionada a uma variável aleatória de interesse  $j$  para o projeto Seis Sigma  $i$ .

Assim, se as pessoas que estão desenvolvendo a seleção dos projetos julgarem necessária a criação de uma série qualitativa, estas podem criar escalas específicas para as variáveis críticas de natureza qualitativa, escalas estas, para a conversão de séries qualitativas em séries quantitativas com escalas variando de 1 a 10. Este item será retomado na seção 5.2.2 deste texto.

Prever a utilização de séries qualitativas (mesmo que subjetivas em certo grau) é um esforço no sentido de deixar o modelo mais genérico e aplicável em mais casos reais de seleções de projetos Seis Sigma.

### ***Segundo Passo***

Na sequência tem-se o estabelecimento de uma série normalizada, que é uma normalização das variáveis aleatórias bases, representada por uma matriz (equação 4), onde:  $\alpha_{ij}$  é o peso relativo da variável aleatória  $j$  para o projeto Seis Sigma  $i$ , dado pela equação 5;  $\tau_{ME}$  é o valor meta para a variável aleatória de interesse  $j$  entre os projetos  $i$ , podendo assumir qualquer valor entre  $\tau_{MIN}$  e  $\tau_{MAX}$ ;  $\tau_{MIN}$  é o menor valor da variável aleatória de interesse  $j$  entre os projetos  $i$ ;  $\tau_{MAX}$  é o maior valor da variável aleatória de interesse  $j$  entre os projetos  $i$ ;  $\mathbf{X}$  é a matriz normalizada.

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \cdots & \alpha_{1m} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \cdots & \alpha_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \cdots & \alpha_{nm} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\alpha_{ij} = \left| \left( \frac{9 \times (\tau_{ij} - \tau_{ME})}{(\tau_{MAX} - \tau_{MIN})} \right) \right| + 1 \quad (5)$$

Na matriz normalizada as variáveis aleatórias bases foram convertidas em séries normalizadas onde o valor mínimo será 1 e o valor máximo será 10. A justificativa para ter se proposto uma normalização de 1 a 10 é que comumente utilizam-se outras escalas de 1 a 10 nas indústrias, como por exemplo, as escalas utilizadas na ferramenta FMEA, descrita anteriormente no capítulo quatro desta tese. Além disso, uma normalização em uma escala pequena (1 a 10) facilita o entendimento comparativo das características das variáveis aleatórias envolvidas.

Assim, com a conversão, quanto menor o valor de cada variável aleatória normalizada, melhor. Isto é, quanto mais próximo do  $\tau_{ME}$  (valor meta para a variável aleatória de interesse  $j$  entre os projetos  $i$ ) menor será o valor da variável aleatória normalizada.

### ***Terceiro Passo***

Nesta fase tem-se o estabelecimento de uma série padrão, representada por uma matriz (equação 6), composta pelos menores valores possíveis para as variáveis aleatórias em questão, onde:  $\beta_{ij}$  é o menor valor que a variável aleatória normalizada  $j$  pode admitir para o projeto Seis Sigma  $i$  (estes valores são portanto: 1);  $Y$  é a matriz padrão.

$$Y = \begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} & \cdots & \beta_{1m} \\ \beta_{21} & \beta_{22} & \cdots & \beta_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \beta_{n1} & \beta_{n2} & \cdots & \beta_{nm} \end{bmatrix} \quad (6)$$

### ***Quarto Passo***

A seguir subtrai-se  $Y$  de  $X$ , (equação 7), onde:  $\Delta_{ij} = \alpha_{ij} - \beta_{ij}$  para o projeto Seis Sigma  $i$ ;  $Z$  é a matriz resultante.

$$Z = Y - X \quad (7)$$

Assim, calcula-se a diferença entre a matriz normalizada e o valor de referência (matriz padrão). Este é um procedimento original da teoria Grey.

### ***Quinto Passo***

São então calculados os pesos relativos (chamados originalmente na teoria Grey de “coeficientes relacionais Grey”). Estes coeficientes relacionais são representados em uma matriz (equação 8), onde:  $\gamma_{ij}$  é o peso relativo da variável aleatória  $j$  para o projeto Seis Sigma  $i$  (equação 9);  $\eta$  é uma constante dada pela equação 10;  $\xi$  é um identificador que apenas afeta o valor relativo de cada peso (também chamado de coeficiente de distinção, podendo assumir um valor entre 0 e 1, quanto menor mais distinção há, mas na maioria das situações é usado o valor 0,5 por ter efeito moderado e boa estabilidade para a equação conforme Liu, Forrest e Yang (2012));  $\Delta_{MIN}$  é o menor valor contido na matriz  $Z$ ;  $\Delta_{MÁX}$  é o maior valor contido na matriz  $Z$ ;  $M$  é a matriz que contém os pesos relativos.

$$M = \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \cdots & \gamma_{1m} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \cdots & \gamma_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma_{n1} & \gamma_{n2} & \cdots & \gamma_{nm} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\gamma_{ij} = \frac{\eta}{\Delta_{ij} + \xi \times \Delta_{MÁX}} \quad (9)$$

$$\eta = \Delta_{MIN} + \xi \times \Delta_{MÁX} \quad (10)$$

### ***Sexto Passo***

No próximo passo é estabelecido o grau de relação entre as variáveis aleatórias em questão. Isto é expresso em uma matriz (equação 11), onde:  $C_i$  é o grau relacional Grey para o projeto Seis Sigma  $i$  (equação 12);  $\lambda_j$  são pesos maiores ou iguais a zero atribuídos às variáveis aleatórias  $j$  respectivamente (equação 13);  $N$  é a matriz que contém os graus relacionais Grey.

$$N = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$C_i = y_{i1} \times \lambda_1 + y_{i2} \times \lambda_2 + \dots + y_{im} \times \lambda_m \quad (12)$$

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_m = 1 \quad (13)$$

Cabe ressaltar que os pesos atribuídos às variáveis aleatórias  $j$  ( $\lambda_j$ ) são valores arbitrários, em geral valores decididos pelas pessoas envolvidas com a seleção dos projetos Seis Sigma. Assim o critério de peso  $\lambda_j$  deve ser definido em cada contexto de aplicação da seleção dos projetos Seis Sigma.

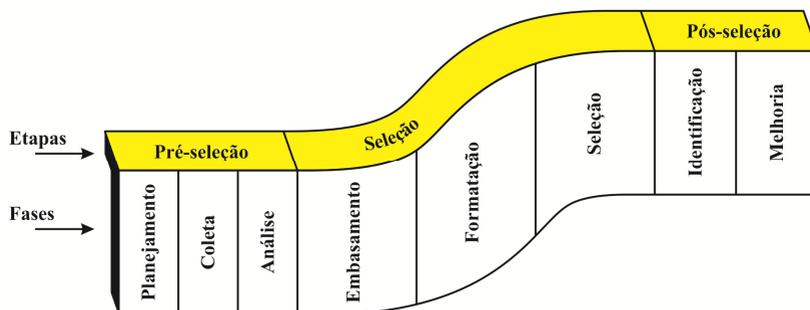
Grau relacional Grey ( $C_i$ ) indica a magnitude da correlação, ou similaridade, medida entre a comparação dos projetos Seis Sigma (ou seja, de cada variável aleatória normalizada), e a sequência de referência (matriz padrão). Portanto, os graus relacionais Grey calculados, das séries definidas na matriz da equação (7), podem ser priorizados aqueles com menor grau de relação, pois representam a pior solução por estar menos próximo da série ideal.

Assim, o *ranking* de priorização dos projetos Seis Sigma é estabelecido a partir dos graus de relação contidos na matriz  $N$ . O menor grau de relação indica o projeto Seis Sigma prioritário, aquele com maiores potenciais de retorno a partir de fatores de decisão pré-estabelecidos. Para fatores de decisão pré-estabelecidos leia-se: variáveis aleatórias de interesse e; pesos atribuídos a estas variáveis aleatórias.

## 5.2 MÉTODO AUXILIAR PARA UTILIZAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

Para auxiliar a utilização do modelo de seleção de projetos Seis Sigma, desenvolveu-se um método estruturado em etapas e fases. O suporte prático desta tese foi utilizado como principal subsídio para o desenvolvimento deste método. A Figura 26 mostra uma visão geral do método, cujo detalhamento é apresentado a seguir.

Figura 26 – Método auxiliar para utilização do modelo.



Pelas características gerais do método, estes procedimentos também podem ser utilizados como referência para a seleção de projetos Seis Sigma ao considerarem-se outros modelos matemáticos.

### 5.2.1 Etapa 1: Pré-seleção

Os objetivos desta etapa são: planejar a seleção de projetos Seis Sigma em termos de recursos necessários; coletar dados e informações a respeito dos projetos Seis Sigma que serão considerados no processo de seleção; analisar possíveis necessidades de novas coletas de dados e informações. Portanto, têm-se três fases distintas nesta etapa, sendo que para cada fase estão previstas ações conforme resumo no Quadro 17.

O resultado esperado nesta etapa do método é a enumeração e o registro de fatores direta e indiretamente relacionados, como, por exemplo, os projetos Seis Sigma para os quais o modelo será implantado; as pessoas envolvidas e as formas de participação; a definição de responsáveis por determinadas ações; suportes técnicos e econômicos previstos; o momento de início e o cronograma parcial das atividades de utilização do modelo. Aqui os projetos Seis Sigma que participarão do processo de seleção devem estar definidos. A próxima etapa chamou-se de seleção, detalhada a seguir.

Quadro 17 – Ações previstas da etapa pré-seleção.

<b>Fase 1.1: Planejamento</b>
Ações previstas:
Convidar as pessoas que precisam se envolver com o processo de seleção de projetos Seis Sigma e as respectivas formas de participação, bem como, definir os responsáveis pelo processo de seleção.
Especificar e suprir as necessidades para o processo de seleção no que tange as variáveis financeira, temporal e técnica.
Elaborar o cronograma parcial das atividades do processo de seleção de projetos Seis Sigma.
<b>Fase 1.2: Coleta</b>
Ações previstas:
Identificar e enumerar os projetos Seis Sigma que serão considerados no processo de seleção.
Organizar e apresentar os dados básicos para as principais variáveis de cada projeto Seis Sigma considerado, sendo as principais variáveis: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Custos (investimentos necessários) do projeto;</li> <li>- Duração do projeto;</li> <li>- Número de <i>Black Belts</i>;</li> <li>- Número de <i>Green Belts</i>;</li> <li>- Impacto na satisfação do consumidor;</li> <li>- Impacto na estratégia organizacional;</li> <li>- Impacto na melhoria no nível sigma;</li> <li>- Impacto financeiro (custo da má qualidade);</li> <li>- Impacto no ganho de produtividade.</li> </ul>
<b>Fase 1.3: Análise</b>
Ações previstas:
Analisar os dados básicos das principais variáveis de cada projeto Seis Sigma buscando verificar se faltam dados e informações.
Concluir, após a análise, para quais projetos Seis Sigma (quando aplicável) é necessário coletarem-se mais dados e informações.
Atribuir a membros do processo de seleção a tarefa (quando aplicável) de coletar mais dados e informações.
Analisar novamente (quando aplicável) os projetos Seis Sigma a partir dos novos dados e informações adicionais.

## 5.2.2 Etapa 2: Seleção

Aqui também se têm três fases distintas, sendo que para cada fase estão previstas ações, resumo no Quadro 18.

Quadro 18 – Ações previstas da etapa seleção.

<b>Fase 2.1: Embasamento</b>
Ações previstas:
Identificar quais são as variáveis críticas que devem ser consideradas em cada projeto Seis Sigma no que tange ao processo de seleção.
Embasar o processo de seleção de projetos nas variáveis críticas identificadas.
Buscar (quando aplicável) mais dados para as variáveis críticas identificadas.
<b>Fase 2.2: Formatação</b>
Ações previstas:
Criar escalas específicas para as variáveis críticas de natureza qualitativa, escalas estas, que transformem séries qualitativas em séries quantitativas com escala de 0 à 10.
Formatar as variáveis críticas de natureza quantitativa de modo a facilitar a utilização do modelo de seleção de projetos Seis Sigma, isto é, organizar o banco de dados que será utilizado.
<b>Fase 2.3: Seleção</b>
Ações previstas:
Iniciar a utilização do modelo de seleção de projetos Seis Sigma.
Selecionar o(s) projeto(s) Seis Sigma após a formação do <i>ranking</i> de priorização.

Os objetivos desta etapa são: definir quais são as variáveis críticas de decisão para os projetos Seis Sigma considerados; coletar, quando necessário, mais dados e informações a respeito dos projetos Seis Sigma a partir das variáveis críticas definidas; transformar, quando necessário, informações qualitativas em séries qualitativas e posteriormente, em séries quantitativas; inserir as séries quantitativas no modelo proposto nesta tese; priorizar com o modelo os projetos Seis Sigma.

O resultado esperado nesta etapa é a seleção de projetos Seis Sigma prioritários, cuja decisão deve ser sustentada pela coleta do máximo de informações e dados de acordo com as variáveis críticas de decisão definidas pelas pessoas envolvidas. A terceira e última etapa chamou-se de pós-seleção.

### 5.2.3 Etapa 3: Pós-seleção

O objetivo desta etapa é identificar possíveis restrições no processo de seleção realizado. Caso presentes, estas restrições certamente estarão relacionados às séries qualitativas desenvolvidas pelas pessoas e não ao modelo proposto nesta tese. As séries qualitativas precisam ser analisadas após a conclusão da implementação dos projetos

Seis Sigma, visando identificar se a seleção de projetos prioritários foi bem realizada. Nesta etapa se têm duas fases distintas, conforme resumo de ações previstas no Quadro 19.

Quadro 19 – Ações previstas da etapa pós-seleção.

<b>Fase 3.1: Identificação</b>
Ações previstas:
Organizar uma reunião com as pessoas que se envolveram no processo de seleção com o intuito de identificar possíveis pontos de melhoria neste processo.
Identificar quais são os possíveis pontos de melhoria no processo de seleção.
<b>Fase 3.2: Melhoria</b>
Ações previstas:
Sugerir adequações em potencial para futuros processos de seleção de projetos Seis Sigma a partir dos possíveis pontos de melhoria identificados.
Formalizar em registro na organização as possíveis sugestões de melhoria propostas.

O resultado esperado é a eliminação de possíveis erros que a equipe tenha cometido no processo de seleção, principalmente no desenvolvimento das séries qualitativas.

Com este método simplificado apresentado aqui, imagina-se que profissionais da área consigam utilizar de modo mais adequado o modelo proposto nesta tese. No próximo subcapítulo apresentar-se-á um plano de experimentos para ilustrar o desempenho do modelo proposto.

### 5.3 EXPERIMENTOS COM O MODELO PROPOSTO

Para simular alguns cenários com o modelo proposto, utilizou-se aqui, princípios da pesquisa experimental. Segundo Gil (2002), a pesquisa experimental constitui o melhor e mais prestigiado exemplo de pesquisa científica.

O problema de pesquisa formulado na pesquisa experimental foi: a atribuição de diferentes pesos às variáveis aleatórias  $j$  interfere no *ranking* resultante do modelo? A hipótese construída para o problema de pesquisa foi: ( $H_0$ ) se forem atribuídos diferentes pesos às variáveis aleatórias  $j$ , então serão diferentes os resultados obtidos pelo modelo.

O objeto de estudo desta pesquisa experimental realizada é a interferência nos *rankings* resultantes pelo modelo; a variável que seria capaz de influenciar o objeto de estudo é o peso atribuído às variáveis aleatórias  $j$ ; e a forma de controle e de observação dos efeitos que a

variável produz no objeto são os *rankings* de priorização resultantes. Desta maneira, o plano experimental foi definido para o problema de pesquisa conforme a Tabela 21. Os valores de  $\lambda_j$  foram atribuídos arbitrariamente, sendo que podem ser quaisquer valores positivos cuja soma seja 1. Na prática estes valores não podem ser atribuídos arbitrariamente e sim, devem ser pesos atribuídos a cada variável aleatória de acordo com a estratégia do grupo que utiliza o modelo aqui proposto. A estratégia do grupo dependerá principalmente das estratégias de negócio da organização, por exemplo, se a estratégia é diminuir índices de não conformidade em processos de produção, então o grupo deve dar maior peso para as variáveis aleatórias relacionadas às não conformidades.

Tabela 21 – Plano de experimentos para o problema de pesquisa.

Utilização de pesos com interferência na orientação objetiva do modelo		
$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$
0,90	0,05	0,05
0,60	0,10	0,30
0,40	0,10	0,50
0,10	0,80	0,10
0,10	0,20	0,70
0,05	0,05	0,90

Resultados na variável dependente (orientação objetiva do modelo: *ranking*)

Ainda para a pesquisa experimental, os sujeitos são os projetos Seis Sigma. O ambiente de pesquisa foi assim caracterizado: ambiente simulado com a garantia de que o fenômeno ocorreu de maneira suficientemente pura e notável. Os dados utilizados na pesquisa experimental foram atribuídos de modo proposital. A pesquisa experimental e respectiva interpretação dos dados, bem como as conclusões obtidas, estão apresentadas na sequência.

Para facilitar a conclusão do plano de experimentos, Tabela 21, construiu-se inicialmente a Figura 27 que ilustra os cálculos pelo modelo proposto.

Na Figura 27 considere 15 projetos Seis Sigma, com três variáveis críticas (três variáveis aleatórias de interesse  $j$  para cada um dos quinze projetos Seis Sigma  $i$ ). Considere que  $j=1$  é o nível sigma de cada projeto. Considere que  $j=2$  é o investimento financeiro previsto para a execução de cada projeto. Considere que  $j=3$  é o retorno financeiro previsto para cada projeto. Considere que o valor meta para

$j=1$  é 6; para  $j=2$  é 400; para  $j=3$  é 9000. Considere  $\lambda_1=1/3$ ;  $\lambda_2=1/3$ ;  $\lambda_3=1/3$ ;  $\xi=0,5$ .

Figura 27 – Representação dos cálculos pelo modelo proposto.

$D =$	<table style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="padding: 2px 10px;">2</td><td style="padding: 2px 10px;">800</td><td style="padding: 2px 10px;">4000</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">3</td><td style="padding: 2px 10px;">500</td><td style="padding: 2px 10px;">6000</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">4</td><td style="padding: 2px 10px;">400</td><td style="padding: 2px 10px;">8000</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">5</td><td style="padding: 2px 10px;">700</td><td style="padding: 2px 10px;">5000</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">3</td><td style="padding: 2px 10px;">900</td><td style="padding: 2px 10px;">9000</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">5</td><td style="padding: 2px 10px;">1000</td><td style="padding: 2px 10px;">4000</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">6</td><td style="padding: 2px 10px;">900</td><td style="padding: 2px 10px;">3000</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">4</td><td style="padding: 2px 10px;">1200</td><td style="padding: 2px 10px;">1000</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">4</td><td style="padding: 2px 10px;">600</td><td style="padding: 2px 10px;">7000</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">6</td><td style="padding: 2px 10px;">1100</td><td style="padding: 2px 10px;">2000</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">3</td><td style="padding: 2px 10px;">700</td><td style="padding: 2px 10px;">3000</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">2</td><td style="padding: 2px 10px;">400</td><td style="padding: 2px 10px;">7000</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">4</td><td style="padding: 2px 10px;">900</td><td style="padding: 2px 10px;">2000</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">3</td><td style="padding: 2px 10px;">500</td><td style="padding: 2px 10px;">1000</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">1</td><td style="padding: 2px 10px;">1200</td><td style="padding: 2px 10px;">9000</td></tr> </table>	2	800	4000	3	500	6000	4	400	8000	5	700	5000	3	900	9000	5	1000	4000	6	900	3000	4	1200	1000	4	600	7000	6	1100	2000	3	700	3000	2	400	7000	4	900	2000	3	500	1000	1	1200	9000	$X =$	<table style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="padding: 2px 10px;">8,2</td><td style="padding: 2px 10px;">5,5</td><td style="padding: 2px 10px;">6,625</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">6,4</td><td style="padding: 2px 10px;">2,125</td><td style="padding: 2px 10px;">4,375</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">4,6</td><td style="padding: 2px 10px;">1</td><td style="padding: 2px 10px;">2,125</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">2,8</td><td style="padding: 2px 10px;">4,375</td><td style="padding: 2px 10px;">5,5</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">6,4</td><td style="padding: 2px 10px;">6,625</td><td style="padding: 2px 10px;">1</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">2,8</td><td style="padding: 2px 10px;">7,75</td><td style="padding: 2px 10px;">6,625</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">1</td><td style="padding: 2px 10px;">6,625</td><td style="padding: 2px 10px;">7,75</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">4,6</td><td style="padding: 2px 10px;">10</td><td style="padding: 2px 10px;">10</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">4,6</td><td style="padding: 2px 10px;">3,25</td><td style="padding: 2px 10px;">3,25</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">1</td><td style="padding: 2px 10px;">8,875</td><td style="padding: 2px 10px;">8,875</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">6,4</td><td style="padding: 2px 10px;">4,375</td><td style="padding: 2px 10px;">7,75</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">8,2</td><td style="padding: 2px 10px;">1</td><td style="padding: 2px 10px;">3,25</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">4,6</td><td style="padding: 2px 10px;">6,625</td><td style="padding: 2px 10px;">8,875</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">6,4</td><td style="padding: 2px 10px;">2,125</td><td style="padding: 2px 10px;">10</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">10</td><td style="padding: 2px 10px;">10</td><td style="padding: 2px 10px;">1</td></tr> </table>	8,2	5,5	6,625	6,4	2,125	4,375	4,6	1	2,125	2,8	4,375	5,5	6,4	6,625	1	2,8	7,75	6,625	1	6,625	7,75	4,6	10	10	4,6	3,25	3,25	1	8,875	8,875	6,4	4,375	7,75	8,2	1	3,25	4,6	6,625	8,875	6,4	2,125	10	10	10	1	$Y = 1$																
2	800	4000																																																																																																												
3	500	6000																																																																																																												
4	400	8000																																																																																																												
5	700	5000																																																																																																												
3	900	9000																																																																																																												
5	1000	4000																																																																																																												
6	900	3000																																																																																																												
4	1200	1000																																																																																																												
4	600	7000																																																																																																												
6	1100	2000																																																																																																												
3	700	3000																																																																																																												
2	400	7000																																																																																																												
4	900	2000																																																																																																												
3	500	1000																																																																																																												
1	1200	9000																																																																																																												
8,2	5,5	6,625																																																																																																												
6,4	2,125	4,375																																																																																																												
4,6	1	2,125																																																																																																												
2,8	4,375	5,5																																																																																																												
6,4	6,625	1																																																																																																												
2,8	7,75	6,625																																																																																																												
1	6,625	7,75																																																																																																												
4,6	10	10																																																																																																												
4,6	3,25	3,25																																																																																																												
1	8,875	8,875																																																																																																												
6,4	4,375	7,75																																																																																																												
8,2	1	3,25																																																																																																												
4,6	6,625	8,875																																																																																																												
6,4	2,125	10																																																																																																												
10	10	1																																																																																																												
$Z =$	<table style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="padding: 2px 10px;">7,2</td><td style="padding: 2px 10px;">4,5</td><td style="padding: 2px 10px;">5,625</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">5,4</td><td style="padding: 2px 10px;">1,125</td><td style="padding: 2px 10px;">3,375</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">3,6</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">1,125</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">1,8</td><td style="padding: 2px 10px;">3,375</td><td style="padding: 2px 10px;">4,5</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">5,4</td><td style="padding: 2px 10px;">5,625</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">1,8</td><td style="padding: 2px 10px;">6,75</td><td style="padding: 2px 10px;">5,625</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">5,625</td><td style="padding: 2px 10px;">6,75</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">3,6</td><td style="padding: 2px 10px;">9</td><td style="padding: 2px 10px;">9</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">3,6</td><td style="padding: 2px 10px;">2,25</td><td style="padding: 2px 10px;">2,25</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">7,875</td><td style="padding: 2px 10px;">7,875</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">5,4</td><td style="padding: 2px 10px;">3,375</td><td style="padding: 2px 10px;">6,75</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">7,2</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">2,25</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">3,6</td><td style="padding: 2px 10px;">5,625</td><td style="padding: 2px 10px;">7,875</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">5,4</td><td style="padding: 2px 10px;">1,125</td><td style="padding: 2px 10px;">9</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">9</td><td style="padding: 2px 10px;">9</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td></tr> </table>	7,2	4,5	5,625	5,4	1,125	3,375	3,6	0	1,125	1,8	3,375	4,5	5,4	5,625	0	1,8	6,75	5,625	0	5,625	6,75	3,6	9	9	3,6	2,25	2,25	0	7,875	7,875	5,4	3,375	6,75	7,2	0	2,25	3,6	5,625	7,875	5,4	1,125	9	9	9	0	$M =$	<table style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0,3846</td><td style="padding: 2px 10px;">0,5000</td><td style="padding: 2px 10px;">0,4444</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0,4545</td><td style="padding: 2px 10px;">0,8000</td><td style="padding: 2px 10px;">0,5714</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0,5556</td><td style="padding: 2px 10px;">1,0000</td><td style="padding: 2px 10px;">0,8000</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0,7143</td><td style="padding: 2px 10px;">0,5714</td><td style="padding: 2px 10px;">0,5000</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0,4545</td><td style="padding: 2px 10px;">0,4444</td><td style="padding: 2px 10px;">1,0000</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0,7143</td><td style="padding: 2px 10px;">0,4000</td><td style="padding: 2px 10px;">0,4444</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">1,0000</td><td style="padding: 2px 10px;">0,4444</td><td style="padding: 2px 10px;">0,4000</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0,5556</td><td style="padding: 2px 10px;">0,3333</td><td style="padding: 2px 10px;">0,3333</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0,5556</td><td style="padding: 2px 10px;">0,6667</td><td style="padding: 2px 10px;">0,6667</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">1,0000</td><td style="padding: 2px 10px;">0,3636</td><td style="padding: 2px 10px;">0,3636</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0,4545</td><td style="padding: 2px 10px;">0,5714</td><td style="padding: 2px 10px;">0,4000</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0,3846</td><td style="padding: 2px 10px;">1,0000</td><td style="padding: 2px 10px;">0,6667</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0,5556</td><td style="padding: 2px 10px;">0,4444</td><td style="padding: 2px 10px;">0,3636</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0,4545</td><td style="padding: 2px 10px;">0,8000</td><td style="padding: 2px 10px;">0,3333</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0,3333</td><td style="padding: 2px 10px;">0,3333</td><td style="padding: 2px 10px;">1,0000</td></tr> </table>	0,3846	0,5000	0,4444	0,4545	0,8000	0,5714	0,5556	1,0000	0,8000	0,7143	0,5714	0,5000	0,4545	0,4444	1,0000	0,7143	0,4000	0,4444	1,0000	0,4444	0,4000	0,5556	0,3333	0,3333	0,5556	0,6667	0,6667	1,0000	0,3636	0,3636	0,4545	0,5714	0,4000	0,3846	1,0000	0,6667	0,5556	0,4444	0,3636	0,4545	0,8000	0,3333	0,3333	0,3333	1,0000	$N =$	<table style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0,443</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0,609</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0,785</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0,595</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0,633</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0,520</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0,615</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0,407</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0,630</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0,576</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0,475</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0,684</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0,455</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0,529</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0,556</td></tr> </table>	0,443	0,609	0,785	0,595	0,633	0,520	0,615	0,407	0,630	0,576	0,475	0,684	0,455	0,529	0,556
7,2	4,5	5,625																																																																																																												
5,4	1,125	3,375																																																																																																												
3,6	0	1,125																																																																																																												
1,8	3,375	4,5																																																																																																												
5,4	5,625	0																																																																																																												
1,8	6,75	5,625																																																																																																												
0	5,625	6,75																																																																																																												
3,6	9	9																																																																																																												
3,6	2,25	2,25																																																																																																												
0	7,875	7,875																																																																																																												
5,4	3,375	6,75																																																																																																												
7,2	0	2,25																																																																																																												
3,6	5,625	7,875																																																																																																												
5,4	1,125	9																																																																																																												
9	9	0																																																																																																												
0,3846	0,5000	0,4444																																																																																																												
0,4545	0,8000	0,5714																																																																																																												
0,5556	1,0000	0,8000																																																																																																												
0,7143	0,5714	0,5000																																																																																																												
0,4545	0,4444	1,0000																																																																																																												
0,7143	0,4000	0,4444																																																																																																												
1,0000	0,4444	0,4000																																																																																																												
0,5556	0,3333	0,3333																																																																																																												
0,5556	0,6667	0,6667																																																																																																												
1,0000	0,3636	0,3636																																																																																																												
0,4545	0,5714	0,4000																																																																																																												
0,3846	1,0000	0,6667																																																																																																												
0,5556	0,4444	0,3636																																																																																																												
0,4545	0,8000	0,3333																																																																																																												
0,3333	0,3333	1,0000																																																																																																												
0,443																																																																																																														
0,609																																																																																																														
0,785																																																																																																														
0,595																																																																																																														
0,633																																																																																																														
0,520																																																																																																														
0,615																																																																																																														
0,407																																																																																																														
0,630																																																																																																														
0,576																																																																																																														
0,475																																																																																																														
0,684																																																																																																														
0,455																																																																																																														
0,529																																																																																																														
0,556																																																																																																														

A Tabela 22 apresenta seis cenários (plano de experimentos), com diferentes pesos atribuídos à  $\lambda_j$  e com respectivos *rankings* de priorização resultantes, considerando as mesmas variáveis aleatórias de entrada expostas para a Figura 27.

Tabela 22 – Resultados para o plano de experimentos.

$\lambda_j$ →	$\lambda_1 = 0,90$	$\lambda_1 = 0,60$	$\lambda_1 = 0,40$	$\lambda_1 = 0,10$	$\lambda_1 = 0,10$	$\lambda_1 = 0,05$
	$\lambda_2 = 0,05$	$\lambda_2 = 0,10$	$\lambda_2 = 0,10$	$\lambda_2 = 0,80$	$\lambda_2 = 0,20$	$\lambda_2 = 0,05$
	$\lambda_3 = 0,05$	$\lambda_3 = 0,30$	$\lambda_3 = 0,50$	$\lambda_3 = 0,10$	$\lambda_3 = 0,70$	$\lambda_3 = 0,90$
Projeto	Ranking A	Ranking B	Ranking C	Ranking D	Ranking E	Ranking F
1	2°	1°	2°	6°	6°	7°
2	6°	6°	6°	13°	10°	10°
3	11°	13°	14°	15°	14°	13°
4	13°	12°	9°	10°	9°	9°
5	7°	11°	15°	8°	15°	15°
6	12°	10°	7°	4°	7°	8°
7	15°	15°	12°	7°	8°	6°
8	8°	4°	1°	1°	1°	1°
9	10°	9°	11°	11°	11°	11°
10	14°	14°	10°	3°	3°	4°
11	4°	2°	4°	9°	5°	5°
12	3°	7°	8°	14°	12°	12°
13	9°	5°	5°	5°	2°	3°
14	5°	3°	3°	12°	4°	2°
15	1°	8°	13°	2°	13°	14°

Verifica-se que as seis alterações de variáveis (pesos  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ) resultaram em seis diferentes formações de *rankings*. Isto é um indicio para se confirmar a hipótese ( $H_0$ ): se forem atribuídos diferentes pesos às variáveis aleatórias  $j$ , então serão diferentes os resultados obtidos pelo modelo. Assim, dependendo da estratégia no processo de seleção de projetos Seis Sigma, diferentes pesos podem ser atribuídos as variáveis críticas de decisão, conduzindo a diferentes *rankings* de priorização destes projetos.

Quando são abordados poucos projetos Seis Sigma no processo de seleção, a visualização dos projetos prioritários fica facilitada a partir da formação de uma lógica intuitiva que permite esta priorização. Contudo, quando é abordado um número maior de projetos, acima de 12 projetos, a utilização do modelo proposto nesta tese é fundamental para facilitar a formação de estratégias que permitam valorizar certa variável crítica de decisão.

## 5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Este capítulo consistiu na proposição do modelo de seleção de projetos Seis Sigma. Os resultados experimentais simulados demonstraram que o modelo apresenta características capazes de trazer o resultado esperado, isto é, a utilização de projetos Seis Sigma com diferentes disponibilidades de variáveis qualitativas e quantitativas. Com o modelo pode-se ter mais objetividade no processo de seleção de projetos Seis Sigma, pois quando diferentes pesos são atribuídos às variáveis críticas de decisão, têm-se diferentes composições de *rankings* resultantes.

Fazendo-se uma avaliação do impacto da quantidade de variáveis aleatórias no modelo, pode-se concluir que, em função dos propósitos do modelo, não se esperam grandes dificuldades operacionais nos cálculos quando a quantidade de variáveis é aumentada. Ao se montar uma planilha em *software* (como o Excel), pode-se aumentar a quantidade de variáveis aleatórias sem grandes dificuldades. Um dos propósitos do modelo foi justamente esta flexibilidade operacional.

De modo análogo, fazendo-se uma análise do impacto do aumento do tamanho da amostra, pode-se concluir que também não existem dificuldades operacionais nos cálculos. Na realidade, na modelagem estes foram pré-requisitos respeitados, de modo que, o modelo ficasse genérico e aplicável a mais casos reais por sua flexibilidade de uso.

O próximo capítulo traz uma avaliação do modelo por meio de uma aplicação prática em uma organização utilizando-se como procedimento técnico metodológico a pesquisa-ação.

## 6 AVALIAÇÃO DO MODELO

Neste capítulo é apresentada a avaliação do modelo proposto por meio de uma aplicação prática em uma organização onde se selecionam projetos Seis Sigma. Aqui é apresentada a pesquisa-ação cujos delineamentos metodológicos foram resumidos no terceiro capítulo desta tese. A principal contribuição é o entendimento da utilização prática do modelo com a apresentação das principais interferências nos resultados a partir da atribuição de diferentes pesos às variáveis aleatórias envolvidas.

Optou-se pelo supracitado procedimento técnico de pesquisa em função do tempo reduzido para a implementação do modelo em um número maior de casos reais. Para avaliar o modelo de forma mais quantitativa, seria necessário um número maior de aplicações do modelo em casos reais. Aí sim, seria possível ter-se uma avaliação a partir de questionários aplicados a todos os participantes das aplicações reais. Neste estágio da tese e em função do tempo exigido para sua conclusão, isto não seria viável.

### 6.1 OBJETIVO DO ESTUDO DE CAMPO

A pesquisa-ação foi conduzida em uma indústria siderúrgica com o objetivo principal de avaliar o modelo em um caso prático. A unidade industrial em questão trata-se da mesma descrita no primeiro estudo qualitativo de campo, no quarto capítulo desta tese. No presente estudo de campo priorizaram-se projetos Seis Sigma dentre oito propostos por *Green Belts* da unidade industrial.

### 6.2 PROCESSO DE SELEÇÃO E VARIÁVEIS CRÍTICAS

O processo de seleção de projetos Seis Sigma utilizado aqui é o modelo proposto nesta tese que se baseia em uma priorização de projetos a partir de séries qualitativas e quantitativas que podem estar relacionadas a quaisquer variáveis críticas definidas como importantes na organização. O processo de implementação do modelo utilizado é o conjunto de etapas e fases do método auxiliar descrito no quinto capítulo desta tese.

Considerou-se quatro variáveis críticas no processo de seleção de projetos Seis Sigma neste estudo, sendo: 1. Custo do projeto; 2. Retorno financeiro; 3. Impacto na satisfação do consumidor; 4. Melhoria no nível sigma. Esta última variável crítica foi dividida em 11 períodos

característicos para cada um dos projetos Seis Sigma. Estes 11 períodos característicos referem-se às médias semanais das últimas 11 semanas de desempenho da variável crítica nível sigma.

Justificativas por terem sido consideradas estas quatro variáveis críticas foram expostas pelas pessoas que desenvolveram a seleção: em resumo, foi justificado que por natureza teórica os projetos Seis Sigma na organização são elaborados de modo a impactar positivamente na estratégia organizacional e na redução de custos por má qualidade. Na realidade, a teoria prevê que seja desta forma. Deste modo a decisão baseou-se no custo do projeto, no retorno financeiro, no impacto na satisfação do consumidor e na melhoria do nível sigma.

### 6.3 PESQUISA APLICADA

A ação de selecionar/priorizar projetos Seis Sigma se deu em função da política de melhoria da qualidade na unidade industrial, tratando-se de uma prática mensal. Foram apresentados oito projetos dos quais dois seriam implementados. A política de melhoria da qualidade prevê que *Green* e *Black Belts* apresentem projetos Seis Sigma periodicamente à unidade industrial.

Na etapa 1 (pré-seleção) as fases do método auxiliar para utilização do modelo foram seguidas conforme a descrição. Cabe destacar que a coleta de dados para a análise dos projetos Seis Sigma foi realizada em seções de *brainstorming*, onde foi verificada a necessidade de desenvolver uma série qualitativa de conversão para uma série quantitativa (escala específica) apresentada no Quadro 20. Isto está previsto na fase 2.2 do método auxiliar para utilização do modelo, capítulo anterior desta tese.

Quadro 20 – Escala específica do impacto na satisfação do consumidor.

Série qualitativa: impacto na satisfação do consumidor	Série quantitativa
Efeito não percebido pelos consumidores	1
Efeito bastante insignificante, percebido por 25% dos consumidores	2
Efeito insignificante, mas percebido por 50% dos consumidores	3
Efeito moderado e percebido por 75% dos consumidores	4
Efeito consideravelmente crítico, percebido pelos consumidores	5
Efeito consideravelmente crítico, que perturba os consumidores	6
Efeito crítico, que deixa o consumidor um pouco insatisfeito	7
Efeito crítico, que deixa o consumidor consideravelmente insatisfeito	8
Efeito crítico, que deixa o consumidor totalmente insatisfeito	9
Efeito crítico, que ameaça a vida do consumidor	10

Em resumo, para desenvolver a escala específica, o grupo baseou-se em duas perguntas que deveriam ser respondidas para cada projeto Seis Sigma. Qual o efeito sob a óptica da satisfação do consumidor se o problema não for solucionado? Como o consumidor poderá reagir caso o problema não for solucionado?

Na etapa 2 (seleção), por meio de sessão de *brainstorming*, foi estimado pelo grupo o grau de efeito de cada projeto sobre o consumidor, assumindo estimativas relacionadas à satisfação do consumidor e a escala específica criada, Quadro 20. Após este procedimento, aplicou-se o modelo para selecionarem-se os projetos Seis Sigma.

Na etapa 3 (pós-seleção) cabe destacar que buscou-se sugerir algumas melhorias no processo de seleção de projetos Seis Sigma. Uma sugestão de melhoria foi criar um aplicativo para *tablets*, visto que este é um equipamento de informática muito utilizado pelas pessoas envolvidas no processo de seleção, pois os *tablets* são integrados a um sistema que projeta informações em uma área de parede da sala de reuniões, facilitando a condução das reuniões.

### 6.3.1 Contextualização: apresentação dos projetos Seis Sigma

O grupo responsável pela priorização dos projetos Seis Sigma procedeu com a coleta de dados quantitativos e qualitativos para os oito projetos. Em resumo, os projetos Seis Sigma estavam relacionados a melhorias pontuais em laminadores de aço (a quente e a frio) que faziam parte dos processos de produção da unidade industrial.

Na Tabela 23 estão apresentadas as variáveis críticas de cada projeto Seis Sigma, sendo  $V_T$  a abreviatura utilizada para as variáveis críticas.

Tabela 23 – Os projetos Seis Sigma e respectivas variáveis críticas.

Projeto Seis Sigma	$V_T$ 1	$V_T$ 2	$V_T$ 3	$V_T$ 4	$V_T$ 5	$V_T$ 6	$V_T$ 7	$V_T$ 8	$V_T$ 9	$V_T$ 10	$V_T$ 11	$V_T$ 12	$V_T$ 13	$V_T$ 14
1	2,500	1,625	2,750	4,500	5,750	6,000	3,375	4,000	3,000	5,500	3,375	13.527	27.000	3
2	4,250	2,000	5,250	1,000	5,250	5,625	4,875	4,125	4,250	4,000	3,875	16.807	22.569	2
3	3,875	2,375	3,125	5,625	4,875	3,125	3,250	4,625	5,000	4,750	5,125	11.362	21.740	3
4	5,500	5,125	4,000	3,250	1,000	1,000	3,750	3,500	2,375	4,125	4,000	9.561	17.774	4
5	1,625	2,875	3,000	2,375	3,750	4,500	5,375	4,375	4,000	3,625	1,625	7.533	12.746	1
6	6,000	3,625	2,625	1,000	2,125	3,875	1,000	5,750	5,125	5,250	3,000	12.005	20.085	1
7	3,750	3,500	4,125	2,750	4,375	2,000	3,000	3,125	2,625	2,875	3,125	10.000	17.641	2
8	4,125	2,125	5,000	3,000	4,625	3,125	3,125	3,875	2,000	1,750	1,500	14.615	24.740	3

$V_T$  de 1 a 11 são os níveis sigma;  $V_T$  12 é o custo previsto do projeto;  $V_T$  13 é o retorno financeiro previsto por mês durante os primeiros seis meses após a conclusão da implementação do projeto;  $V_T$  14 é a estimativa do impacto na satisfação do consumidor.

Para a décima quarta variável apresentada na Tabela 23 ( $V_T$  14), o grupo que procedeu com a pesquisa-ação desenvolveu uma série qualitativa de conversão para uma série quantitativa, conforme discutido no início da subseção 6.3, isto é, são os resultados das estimativas feitas pelo grupo a partir do Quadro 20.

### 6.3.2 Processo de seleção de projetos Seis Sigma

No processo de seleção o grupo de pessoas utilizou o modelo proposto nesta tese, incluindo as variáveis aleatórias e considerando os períodos característicos padronizados por semana em cada projeto Seis Sigma. Assim, pode-se estabelecer um *ranking* dos projetos prioritários, conforme apresentado na Tabela 24, isto é, pesos das variáveis 1 a 14 iguais à 1/14 (para o *ranking* B). Na sequência o grupo simulou alguns pesos diferentes para as variáveis aleatórias, conforme pode ser visualizado também na Tabela 24, *rankings* A, C, D, E. Esta simulação foi realizada apenas para ter-se uma noção se o resultado seria afetado se caso o grupo atribuísse pesos diferentes a certas variáveis aleatórias. Como pode ser visto, o resultado é afetado.

O grupo considerou os níveis sigma por projeto para a formação do *ranking* ideal como principal fator de decisão, isto é, para poder estabelecer a priorização dos projetos. O grupo deu maior peso para as variáveis aleatórias 1 a 11, isto é, o *ranking* C foi adotado como ideal, pois o grupo estabeleceu que os níveis sigma deveriam ter maior peso no processo de decisão neste caso em específico. Aliás, vale reinterar que as variáveis aleatórias 1 a 11 se referem à uma mesma variável crítica, isto é, o nível sigma dividido em períodos característicos do processo.

Assim uma variável crítica teve maior peso no processo de seleção, ou seja, a variável melhoria no nível sigma. As outras (custo do projeto, retorno financeiro e impacto na satisfação do consumidor) foram consideradas com menor peso pelo grupo responsável pela seleção.

Tabela 24 – Projetos Seis Sigma e priorizações resultantes.

	$\lambda_1 = 2,5/40$	$\lambda_1 = 1/14$	$\lambda_1 = 2,5/30$	$\lambda_1 = 1/12$	$\lambda_1 = 1/11$
	$\lambda_2 = 2,5/40$	$\lambda_2 = 1/14$	$\lambda_2 = 2,5/30$	$\lambda_2 = 1/12$	$\lambda_2 = 1/11$
	$\lambda_3 = 2,5/40$	$\lambda_3 = 1/14$	$\lambda_3 = 2,5/30$	$\lambda_3 = 1/12$	$\lambda_3 = 1/11$
	$\lambda_4 = 2,5/40$	$\lambda_4 = 1/14$	$\lambda_4 = 2,5/30$	$\lambda_4 = 1/12$	$\lambda_4 = 1/11$
	$\lambda_5 = 2,5/40$	$\lambda_5 = 1/14$	$\lambda_5 = 2,5/30$	$\lambda_5 = 1/12$	$\lambda_5 = 1/11$
	$\lambda_6 = 2,5/40$	$\lambda_6 = 1/14$	$\lambda_6 = 2,5/30$	$\lambda_6 = 1/12$	$\lambda_6 = 1/11$
$\lambda_j$	$\lambda_7 = 2,5/40$	$\lambda_7 = 1/14$	$\lambda_7 = 2,5/30$	$\lambda_7 = 1/12$	$\lambda_7 = 1/11$
→	$\lambda_8 = 2,5/40$	$\lambda_8 = 1/14$	$\lambda_8 = 2,5/30$	$\lambda_8 = 1/12$	$\lambda_8 = 1/11$
	$\lambda_9 = 2,5/40$	$\lambda_9 = 1/14$	$\lambda_9 = 2,5/30$	$\lambda_9 = 1/12$	$\lambda_9 = 1/11$
	$\lambda_{10} = 2,5/40$	$\lambda_{10} = 1/14$	$\lambda_{10} = 2,5/30$	$\lambda_{10} = 1/12$	$\lambda_{10} = 1/11$
	$\lambda_{11} = 2,5/40$	$\lambda_{11} = 1/14$	$\lambda_{11} = 2,5/30$	$\lambda_{11} = 1/12$	$\lambda_{11} = 1/11$
	$\lambda_{12} = 5/40$	$\lambda_{12} = 1/14$	$\lambda_{12} = 1/30$	$\lambda_{12} = 1/12$	$\lambda_{12} = 0$
	$\lambda_{13} = 5/40$	$\lambda_{13} = 1/14$	$\lambda_{13} = 1/30$	$\lambda_{13} = 0$	$\lambda_{13} = 0$
	$\lambda_{14} = 2,5/40$	$\lambda_{14} = 1/14$	$\lambda_{14} = 0,5/30$	$\lambda_{14} = 0$	$\lambda_{14} = 0$
<b>Projeto</b>	<b>Ranking A</b>	<b>Ranking B</b>	<b>Ranking C</b>	<b>Ranking D</b>	<b>Ranking E</b>
<b>1</b>	7°	7°	6°	5°	5°
<b>2</b>	8°	8°	8°	8°	7°
<b>3</b>	6°	6°	7°	7°	8°
<b>4</b>	3°	4°	4°	4°	4°
<b>5</b>	2°	2°	3°	3°	3°
<b>6</b>	5°	5°	5°	6°	6°
<b>7</b>	1°	1°	1°	1°	1°
<b>8</b>	4°	3°	2°	2°	2°

De tal modo, o grupo priorizou os projetos Seis Sigma a serem implementados na unidade industrial, em específico os projetos 7 e 8 respectivamente.

### 6.3.3 Resultados práticos da pesquisa-ação

Nesta aplicação do modelo proposto os principais resultados práticos para a organização foram a seleção e a implementação de dois projetos Seis Sigma. Após a finalização da implementação dos projetos Seis Sigma, buscou-se verificar se os objetivos de cada projeto foram atingidos. Resumidamente os resultados após a implementação estão mostrados na Tabela 25.

Tabela 25 – Resultados dos projetos Seis Sigma implementados.

<b>Variáveis</b>	<b>Resultados do projeto Seis Sigma 7 implementado</b>
Número de <i>Black Belts</i>	participou 1
Número de <i>Green Belts</i>	participou 4
Duração do projeto	160 dias
Problema prático – considerando um período de 1 mês após o término da implementação	foi solucionado, pois a redução esperada de variabilidade do processo foi atingida
Retorno financeiro – igualmente considerando um período de 1 mês	17.940 dólares – superando o previsto inicialmente que era de 17.641
Investimento financeiro total para a conclusão do projeto	10.863 dólares – ou seja, acima do orçamento inicialmente previsto de 10.000
Impacto no nível sigma – igualmente considerando um período de 1 mês	nível sigma melhorado para 4,375 – uma diminuição média de 7.581 defeitos por milhão de oportunidades
<b>Variáveis</b>	<b>Resultados do projeto Seis Sigma 8 implementado</b>
Número de <i>Black Belts</i>	participou 1
Número de <i>Green Belts</i>	participou 3
Duração do projeto	183 dias
Problema prático – considerando um período de 1 mês após o término da implementação	foi solucionado, pois a variabilidade no processo foi reduzida conforme o projeto previa
Retorno financeiro – igualmente considerando um período de 1 mês	25.107 dólares – superando o previsto inicialmente que era de 24.740
Investimento financeiro total para a conclusão do projeto	15.007 dólares – ou seja, acima do orçamento inicialmente previsto de 14.615
Impacto no nível sigma – igualmente considerando um período de 1 mês	nível sigma melhorado para 2,625 – uma diminuição média de 342.066 defeitos por milhão de oportunidades

A partir destes resultados é possível verificar que os projetos Seis Sigma foram adequadamente selecionados e implementados, pois os resultados práticos após a implementação dos projetos mostram que os objetivos foram atingidos. Fazendo-se uma avaliação quantitativa, atingiu-se 100% os objetivos de cada projeto implementado, que a partir dos critérios de entrada do modelo, foram apontados como os projetos com mais potenciais de melhoria.

Sob o ponto de vista da teoria, os resultados mostraram que o modelo proposto nesta tese possui aplicabilidade podendo simplificar e padronizar o método matemático de seleção de projetos Seis Sigma. Isto porque o modelo prevê a utilização de diferentes variáveis quantitativas e/ou qualitativas ao mesmo tempo.

## 6.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo consistiu na avaliação do modelo de seleção de projetos Seis Sigma. Os resultados demonstraram que o modelo apresenta características capazes de trazer mais objetividade ao processo de seleção de projetos Seis Sigma. Isto porque nos casos em que a utilização de dados qualitativos for indispensável, escalas específicas podem ser criadas e utilizadas como padrão de conversão de séries qualitativas em séries quantitativas. Assim, as organizações podem criar padrões aplicáveis às seleções de projetos Seis Sigma, isto é, sempre que necessário poder-se-á utilizar escalas específicas como padrão.

Além disso, quando diferentes pesos são atribuídos às variáveis, têm-se diferentes orientações objetivas do modelo. Assim, dependendo da estratégia da organização, pode-se alterar pesos que por consequência, podem alterar o *ranking* de priorização de projetos. Importante ressaltar ainda que o modelo não apresenta dificuldades operacionais de aplicação, buscando estabelecer um grau de relação de cada variável crítica com um padrão ideal para estas respectivas variáveis. Pela sua flexibilidade operacional, o modelo pode ser facilmente adotado nas organizações, trazendo mais de objetividade ao processo de seleção de projetos Seis Sigma.

Verificou-se neste capítulo que as cinco alterações de pesos das variáveis aleatórias resultaram em cinco diferentes formações de *rankings* (A, B, C, D, E). Assim, dependendo da estratégia da organização, diferentes pesos podem ser atribuídos às variáveis aleatórias, conduzindo a diferentes orientações resultantes do modelo. Deste modo os efeitos multiplicadores do impacto do modelo na satisfação do consumidor são diretos, pois dependendo da estratégia adotada no processo de seleção, atribuir-se-á pesos as variáveis que impactam e afetam mais (ou menos) na satisfação do consumidor.

Em outras palavras, os atributos que têm relação com a satisfação do consumidor são traduzidos em pesos e em variáveis bem definidas no modelo de seleção. De modo análogo ao que se faz em um Planejamento Estratégico, quando são elaborados e/ou selecionados projetos Seis Sigma, as percepções do mercado (consumidor) são de suma importância nas tomadas de decisão. Perceber e traduzir as tendências do mercado são tarefas das pessoas envolvidas no processo de seleção de projetos Seis Sigma.

O retorno para a organização estudada foram os resultados com a aplicação prática do modelo proposto. As pessoas da empresa envolvidas tiveram uma ampliação e melhor compreensão das

possibilidades de se trazer mais objetividade ao processo de seleção de projetos. Foi percebida a importância do uso de um modelo de base quantitativa para selecionar projetos, bem como, os benefícios de se utilizar padronizações para os dados qualitativos envolvidos no processo.

Observações feitas em campo pelo autor desta tese apontam que o modelo foi bem aceito na organização e que tem grandes possibilidades de ser adotado como padrão em todas organizações do grupo.

Para finalizar, quando são abordados poucas variáveis aleatórias para cada projeto Seis Sigma, fica facilitada a formação de uma lógica informal (subjéctiva) que permita priorizar certo projeto pelas pessoas envolvidas no processo. Contudo, quando é abordado um número maior de variáveis aleatórias, acima de três, a utilização do modelo proposto pode facilitar a formação de estratégias que permitam valorizar certa variável em detrimento de outra.

## 7 CONCLUSÃO

Nesta tese em Engenharia de Produção o tema Seis Sigma foi abordado buscando-se uma resposta para o problema de pesquisa ascendente: como selecionar projetos Seis Sigma de forma quantitativa e, ao mesmo tempo, sem a utilização de modelos matemáticos complexos? Ao final desta pesquisa defende-se uma resposta que é fundamentada nos argumentos apresentados no decorrer deste texto, seja esta: para a seleção de projetos Seis Sigma de forma quantitativa e, ao mesmo tempo, sem a utilização de modelos matemáticos complexos pode-se utilizar o modelo proposto nesta tese. Os Quadros 21 e 22 apresentam uma síntese conclusiva que foi elaborada a partir dos resultados obtidos ao longo do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa. Cabe ressaltar que não houve medição do nível de alcance de cada objetivo, fez-se uma análise qualitativa dos resultados obtidos.

O modelo proposto é fundamentado em uma lógica que permite selecionar projetos Seis Sigma com base em um método quantitativo, a partir de variáveis quantitativas ou qualitativas, possibilitando assim, a seleção de projetos que satisfaçam prioridades estipuladas pela organização. O princípio de utilizar séries qualitativas associadas a séries quantitativas foi uma solução simplificada proposta nesta tese, solução esta baseada na teoria Grey. Isto vai ao encontro de uma das atribuições do Engenheiro de Produção que é criar soluções muitas vezes simplificadas para problemas reais complexos. De fato, na indústria, as técnicas mais utilizadas são as menos complexas.

Quadro 21 – Quadro conclusivo da tese.

<p><b>Objetivo geral:</b> Estruturar um modelo que otimize a efetividade na seleção de projetos Seis Sigma, considerando projetos com diferentes disponibilidades de variáveis aleatórias.</p>
<p><b>Resultado:</b> Foi desenvolvido um modelo para aquelas organizações que necessitam selecionar projetos Seis Sigma de forma quantitativa, utilizando-se relações de séries qualitativas e quantitativas, bem como, prevendo-se projetos com diferentes disponibilidades de dados e informações.</p>
<p><b>Conclusão:</b> Concluiu-se que o modelo apresenta características capazes de trazer mais simplicidade ao processo de seleção de projetos Seis Sigma, ao mesmo tempo em que, traz menos subjetividade ao envolver séries qualitativas relacionadas a séries quantitativas.</p>

## Quadro 22 – Quadro conclusivo da tese.

<b>Objetivo específico:</b> (i) Identificar como organizações industriais procedem para selecionar projetos Seis Sigma.
<b>Resultado:</b> Foi identificado, por meio de pesquisa do tipo estudo de caso, como quatro organizações industriais procederam para selecionar projetos Seis Sigma, bem como, por meio de pesquisa <i>survey</i> , como 48 organizações procedem com o mesmo tema.
<b>Conclusão:</b> Concluiu-se que não há um método comum, cada processo de seleção é tratado isoladamente a partir da disponibilidade e natureza dos dados disponíveis para os projetos Seis Sigma em questão.
<b>Objetivo específico:</b> (ii) Propor um modelo de seleção que priorize projetos Seis Sigma com maiores potenciais de retorno a partir de fatores de decisão pré-estabelecidos.
<b>Resultado:</b> Foi proposto um modelo de seleção de projetos Seis Sigma, modelo que permite a utilização de diferentes variáveis aleatórias, isto é, que permite a utilização inclusive de séries qualitativas.
<b>Conclusão:</b> Concluiu-se que o modelo é aplicável em seleções de projetos Seis Sigma complexos e não complexos.
<b>Objetivo específico:</b> (iii) Avaliar o modelo proposto por meio de experimentos com variáveis aleatórias envolvidas na seleção de projetos Seis Sigma.
<b>Resultado:</b> Foi positivamente avaliado o modelo por meio de um plano de experimentos que mostrou deferentes resultados a partir da alteração de variáveis aleatórias de entrada e peso atribuídos a estas variáveis.
<b>Conclusão:</b> Conclui-se que o modelo apresenta desempenho dentro do esperado e que contribui para o alcance do objetivo geral desta tese.
<b>Objetivo específico:</b> (iv) Consolidar o modelo proposto por meio de uma aplicação prática de campo e incluir procedimentos operacionais para viabilizar a aplicação prática do modelo.
<b>Resultado:</b> Foi avaliado positivamente o resultado obtido da aplicação prática do modelo por meio de uma pesquisa-ação em uma organização industrial.
<b>Conclusão:</b> Concluiu-se que o modelo, dentro de suas limitações, está consolidado e pode ser aplicado em organizações que necessitam selecionar projetos Seis Sigma com diferentes disponibilidades de variáveis aleatórias, sendo estes projetos complexos ou não.

O modelo proposto neste trabalho é a principal contribuição teórica desta pesquisa, sendo o principal argumento para a defesa do ineditismo desta tese. Esta tese por natureza é aplicada e, portanto, este

modelo pode ser utilizado em situações cotidianas em organizações que requerem um modelo que auxilie na seleção de projetos Seis Sigma. A utilização de séries qualitativas (mesmo que subjetivas em certo grau) é um esforço no sentido de deixar o modelo proposto mais genérico e aplicável em mais casos reais de seleções de projetos Seis Sigma.

## 7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros sugere-se novas aplicações e avaliações do modelo proposto em outras organizações, buscando identificar possíveis diferenças nos resultados, e que de algum modo, indiquem a necessidade de adequações no modelo. Outra sugestão para trabalhos futuros é a ampliação da pesquisa *survey* apresentada nesta tese, principalmente, ampliação do tamanho da amostra, buscando identificar diferenças nos resultados obtidos. Outros efeitos multiplicadores podem ser a utilização do modelo proposto em pequenas e médias empresas que utilizam a estratégia Seis Sigma, visto que é um modelo flexível e que pode ser operacionalizado sem grandes dificuldades em planilhas eletrônicas de cálculo. Outros trabalhos futuros poderiam focar em setores onde o Seis Sigma ainda é pouco utilizado, mas em crescente aceitação, por exemplo: 1. Setor de serviços; 2. Setor de pesquisa e desenvolvimento.

## 7.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo proposto pode ser aplicado apenas em casos reais onde se utiliza a estratégia Seis Sigma e onde, conseqüentemente e normalmente, são realizadas seleções de projetos Seis Sigma. Para muitas organizações o Seis Sigma é incompatível, justamente por ser uma iniciativa que requer elevados investimentos. Nestas organizações o modelo proposto não será útil. Apesar da operacionalização do modelo proposto não requer investimentos relevantes, o modelo não será útil porque não ocorrem seleções de projetos Seis Sigma.

Os procedimentos metodológicos utilizados foram adequados aos objetivos desta tese, facilitando o processo de investigação. Em especial, a estratégia de procedimentos técnicos adotada possibilitou, por meio da pesquisa do tipo estudo de caso e da pesquisa *survey*, um entendimento mais detalhado das características do problema de pesquisa em cenários aplicados e, por meio da pesquisa-ação, possibilitou uma avaliação do modelo proposto para estas características.

Conclusivamente, esta tese proporcionou uma reflexão acerca da importância do modelo proposto para aquelas organizações que

necessitam selecionar projetos Seis Sigma de modo menos subjetivo (com base numérica), utilizando-se relações de séries qualitativas e quantitativas. E de fato, diferente de outras iniciativas de gestão da qualidade, o Seis Sigma vem atualmente gerando importantes resultados financeiros em variados setores da economia.

A principal limitação desta pesquisa é o fato dos subsídios práticos terem sido extraídos de poucos casos práticos. Ainda que a tese forneça evidências de que o modelo proposto possui aplicabilidade, é reconhecido que são resultados limitados a uma pequena amostra. Metodologicamente, não se podem generalizar as inconsistências específicas nos resultados para outros contextos empíricos e científicos. De todo modo, esta pesquisa cumpriu com seu objetivo com a proposição de uma solução inédita.

## REFERÊNCIAS

- ABOELMAGED, M. G. Six Sigma quality: a structured review and implications for future research. *International Journal of Quality and Reliability Management*, v.27, n.3, p.268-317, 2010.
- ADAMS, C.; GUPTA, P.; WILSON, C. *Six Sigma Deployment*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2003.
- AGARWAL, R.; BAJAJ, N. Managing outsourcing process: applying six sigma. *Business Process Management Journal*, v.14, n.6, p.829-837, 2008.
- AKPOLAT, Dr. H.; XU, Prof. J. Selecting Six Sigma Projects. *The Asian Journal on Quality*, v.3, n.2, p.132-137, 2007.
- ANDERSSON, R.; ERIKSSON, H.; TORSTENSSON, H. Similarities and differences between TQM, six sigma and lean. *The TQM Magazine*, v.18, n.3, p.282-296, 2006.
- ANTONY, J. A SWOT analysis on Six Sigma: some perspectives from leading academics and practitioners. *International Journal of Productivity and Performance Management*, v.61, n.6, p.691-698, 2012.
- ANTONY, J. Can six sigma be effectively implemented in SMEs? *International Journal of Productivity and Performance Management*, v.57, n.5, p.420-423, 2008b.
- ANTONY, J. Design for six sigma: a breakthrough business improvement strategy for achieving competitive advantage. *Work Study*, v.51, n.1, p.6-8, 2002.
- ANTONY, J. et al. Application of Six Sigma DMAIC methodology in a transactional environment. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v.29, n.1, p.31-53, 2012.
- ANTONY, J. et al. Can six sigma be the “cure” for our “ailing” NHS? *Leadership in Health Services*, v.20, n.4, p.242-253, 2007a.
- ANTONY, J. et al. Six sigma in service organizations: benefits, challenges and difficulties, common myths, empirical observations and success factors. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v.24, n.3, p.294-311, 2007b.
- ANTONY, J. Is six sigma a management fad or fact? *Assembly Automation*, v.27, n.1, p.17-19, 2007.

ANTONY, J. Six sigma for service processes. *Business Process Management Journal*, v.12, n.2, p.234-248, 2006.

ANTONY, J. Six Sigma in the UK service organisations: results from a pilot survey. *Managerial Auditing Journal*, v.19, n.8, p.1006-1013, 2004a.

ANTONY, J. Some pros and cons of six sigma: an academic perspective. *The TQM Magazine*, v.16, n.4, p.303-306, 2004b.

ANTONY, J. What is the role of academic institutions for the future development of six sigma? *International Journal of Productivity and Performance Management*, v.57, n.1, p.107-110, 2008a.

ANTONY, J.; BANUELAS, R. Key ingredients for the effective implementation of six sigma program. *Measuring Business Excellence*, v.6, n.4, p.20-27, 2002.

ANTONY, J.; BANUELAS, R.; KNOWLES, G. Implementing Six Sigma. *IEEE Control Systems Magazine*, v.21, n.1, p.181-185, 2001.

ANTONY, J.; CORONADO, R. B. A strategy for survival. *Manufacturing Engineer*, v.80, n.3, p.119-121, 2001.

ANTONY, J.; DOUGLAS, A.; ANTONY, F. J. Determining the essential characteristics of six sigma black belts: results from a pilot study in UK manufacturing companies. *The TQM Magazine*, v.19, n.3, p.274-281, 2007.

ANTONY, J.; FERGUSSON, C. Six sigma in the software industry: results from a pilot study. *Managerial Auditing Journal*, v.19, n.8, p.1025-1032, 2004.

ANTONY, J.; KUMAR, M.; MADU, C. N. Six sigma in small- and medium-sized UK manufacturing enterprises: some empirical observations. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v.22, n.8, p.860-874, 2005.

ARNHEITER, E. D.; MALEYEFF, J. The integration of lean management and six sigma. *The TQM Magazine*, v.17, n.1, p.5-18, 2005.

BANUELAS, R. et al. Selection of six sigma projects in the UK. *The TQM Magazine*, v.18, n.5, p.514-527, 2006.

BAÑUELAS, R.; ANTONY, J. Going from six sigma to design for six sigma: an exploratory study using analytic hierarchy process. *The TQM Magazine*, v.15, n.5, p.334-344, 2003.

BAÑUELAS, R.; ANTONY, J. Six sigma or design for six sigma? *The TQM Magazine*, v.16, n.4, p.250-263, 2004.

BARRATT, M.; CHOI, T. Y.; LI, M. Qualitative case studies in operations management: Trends, research outcomes, and future research implications. *Journal of Operations Management*, v.29, p.329-342, 2011.

BATALHA, M. O. (Org.) *Introdução à engenharia de produção*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. 312 p.

BENDELL, T. A review and comparison of six sigma and the lean organizations. *The TQM Magazine*, v.18, n.3, p.255-262, 2006.

BILGEN, B.; SEN, M. Project selection through fuzzy analytic hierarchy process and a case study on Six Sigma implementation in an automotive industry. *Production Planning & Control: The Management of Operations*, v.23, n.1, p.2-25, 2012.

BISGAARD, S.; FREIESLEBEN, J. Six Sigma and the bottom line. *Quality Progress*, v.37, n.9, p.57-62, 2004.

BISGAARD, S.; MAST, J. After Six Sigma: what's next? *Quality Progress*, v.39, n.1, p.30-36, 2006.

BLACK, K.; REVERE, L. Six sigma arises from the ashes of TQM with a twist. *International Journal of Health Care Quality Assurance*, v.19, n.3, p.259-266, 2006.

BONANOMI, R. C. et al. Aplicação da teoria Grey e FMEA – análise dos modos de falha e efeitos na priorização de riscos de projetos de desenvolvimento de software produto. *Revista Gestão Industrial*, v.6, n.4, p.70-92, 2010.

BONILLA, C. et al. Radiation oncology: lean six sigma 'project selection based on patient and staff input into a modified quality function deployment'. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, v.4, n.3, p.196-208, 2008.

BREYFOGLE III, F. W. Golf and Six Sigma: use Six Sigma metrics to drive proper process behavior. *Quality Progress*, v.35, n.11, p.83-85, 2002.

BREYFOGLE III, F. W.; MEADOWS, B. Bottom-line success with Six Sigma: define key process output variables and their effects on the cost of poor quality. *Quality Progress*, v.34, n.5, p.101-104, 2001.

BREYFOGLE, F. W. *Six Sigma: smarter solutions using statistical methods*. 2.ed. Austin: Wiley, 2003.

BREYFOGLE, F.; CUPELLO, J.; MEADWS, B. *Managing Six Sigma*. New York: Wiley Inter-science, 2001.

BRUN, A. Critical success factors of Six Sigma implementations in Italian companies. *International Journal of Production Economics*, v.131, n.1, p.158-164, 2010.

BUCH, K. K.; TOLENTINO, A. Employee expectancies for six sigma success. *Leadership & Organization Development Journal*, v.27, n.1, p.28-37, 2006a.

BUCH, K. K.; TOLENTINO, A. Employee perceptions of the rewards associated with six sigma. *Journal of Organizational Change Management*, v.19, n.3, p.356-364, 2006b.

BÜYÜKÖZKAN, G.; ÖZTÜRKCAN, D. An integrated analytic approach for Six Sigma project selection. *Expert Systems with Applications*, v.37, p.5835-5847, 2010.

BYRNE, G.; LUBOWE, D.; BLITZ, A. Using a lean six sigma approach to drive innovation. *Strategy & Leadership*, v.35, n.2, p.5-10, 2007.

ÇAKIR, O. The grey extent analysis. *Kybernetes*, v.37, n.7, p.997-1015, 2008.

CALDWELL, C.; BREXLER, J.; GILLEM, T. Engaging physicians in Lean Six Sigma. *Quality Progress*, v.38, n.11, p.42-46, 2005.

CAMGOZ-AKDAG, H. Total quality management through six sigma benchmarking: a case study. *Benchmarking: An International Journal*, v.14, n.2, p.186-201, 2007.

CARNELL, M. Six Sigma in everything we do? *Quality Progress*, v.40, n.1, p.67-68, 2007.

CARNELL, M. The Six Sigma mambo. *Quality Progress*, v.37, n.1, p.87-89, 2004.

CARVALHO, M. M. de; PALADINI, E. P. *Gestão da qualidade: teoria e casos*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006. 355 p.

CHAKRABARTY, A.; TAN, K. C. The current state of six sigma application in services. *Benchmarking: An International Journal*, v.17, n.2, p.194-208, 2007.

CHEN, C. N.; TING, S. C. A study using the grey system theory to evaluate the importance of various service quality factors. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v.19, n.7, p.838-861, 2002.

CHEN, Z. et al. Grey linear programming. *Kybernetes*, v.33, n.2, p.238-246, 2004.

CHENG, J. L. Implementing six sigma via TQM improvement: an empirical study in Taiwan. *The TQM Journal*, v.20, n.3, p.182-195, 2008.

CHO, J. H. et al. Selection of Six Sigma key ingredients (KIs) in Korean companies. *The TQM Journal*, v.23, n.6, p.611-628, 2011.

CHOO, A. S.; LINDERMAN K. W.; SCHROEDER R. G. Method and Psychological Effects on Learning Behaviors and Knowledge Creation in Quality Improvement Projects. *Management Science*, v.53, n.3, p.437-450, 2007.

COGHLAN, D.; BRANNICK, T. *Doing action research in your own organization*. 3.ed. London: Sage Publications, 2010.

CONKLIN, J. D. DOE and Six Sigma. *Quality Progress*, v.37, n.3, p.66-69, 2004.

CORONADO, R. B.; ANTONY, J. Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organisations. *The TQM Magazine*, v.14, n.2, p.92-99, 2002.

CORRÊA, H. L. *Teoria geral da administração: abordagem histórica da gestão de produção e operações*. São Paulo: Atlas, 2003. 157 p.

COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. *Controle estatístico de qualidade*. São Paulo: Atlas, 2004. 334 p.

CROM, S. Implementing Six Sigma in Europe: a cross-cultural perspective. *Quality Progress*, v.33, n.10, p.73-75, 2000.

- DAHLGAARD, J. J.; DAHLGAARD-PARK, S. M. Lean production, six sigma quality, TQM and company culture. *The TQM Magazine*, v.18, n.3, p.263-281, 2006.
- DANIELS, S. E. Six Sigma at Cigna. *Quality Progress*, v.40, n.5, p.43-48, 2007.
- DAOWU, Y. et al. The application of “grey system theory” in a molybdate inhibitive study. *Anti-Corrosion Methods and Materials*, v.51, n.3, p.200-204, 2004.
- DAVIS, M. M.; AQUILANO, N. J.; CHASE, R. B. *Fundamentos da administração da produção*. Tradução Eduardo D’ Agord Schaan et al. 3.ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2001. 598 p.
- DE FEO, J.; BARNARD, W. *Juran institute’s six sigma breakthrough and beyond: Quality Performance Methods*. New York: McGraw-Hill, 2004.
- DINESH KUMAR, U. et al. *Reliability and Six Sigma*. Berlin: Springer, 2006.
- ECKES, G. *A revolução Seis Sigma: o método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucro*. Tradução Reynaldo Cavalheiro Marcondes. Rio de Janeiro: Campus, 2001. 272 p.
- EDGEMAN, R. L.; BIGIO, D. I. Six Sigma in metaphor: heresy or holy writ? *Quality Progress*, v.37, n.1, p.25-30, 2004.
- EHIE, I.; SHEU, C. Integrating six sigma and theory of constraints for continuous improvement: a case study. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v.16, n.5, p.542-553, 2005.
- EISENHARDT, K. M.; GRAEBNER, M. E. Theory building from cases: opportunities and challenges. *Academy of Management Journal*, v.50, n.1, p.25-32, 2007.
- ELLIOTT, G. The journey to steps to six sigma. *Handbook of Business Strategy*, v.5, n.1, p.201-205, 2004.
- ESIMAI, G. Lean Six Sigma reduces medication errors. *Quality Progress*, v.38, n.4, p.51-57, 2005.
- FLEURY, A. O que é Engenharia de Produção? In: BATALHA, M. O. (Org.) *Introdução à engenharia de produção*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. p.1-10.

- FREIESLEBEN, J. Communicating six sigma's benefits to top management. *Measuring Business Excellence*, v.10, n.2, p.19-27, 2006.
- FRENCH, S. Action research for practicing managers. *Journal of Management Development*, v.28, n.3, p.187-204, 2009.
- GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2002. 175 p.
- GIL, A. C. *Estudo de caso*. São Paulo: Atlas, 2009. 148 p.
- GNIBUS, R. J. Six Sigma's missing link: understanding the quality tool needed to calculate sigma ratings. *Quality Progress*, v.33, n.11, p.77-83, 2000.
- GODFREY, A. B. Why Six Sigma? *Quality Progress*, v.35, n.1, p.6-6, 2002.
- GOH, T. N.; XIE, M. Improving on the six sigma paradigm. *The TQM Magazine*, v.16, n.4, p.235-240, 2004.
- GOODMAN, J.; THEUERKAUF, J. What's wrong with Six Sigma? *Quality Progress*, v.38, n.1, p.37-42, 2005.
- GROSS, J. M. A road map to Six Sigma quality: a successful program must become a cultural revolution involving every person in an organization. *Quality Progress*, v.34, n.11, p.24-29, 2001.
- GUO, R.; LOVE, E. Fuzzy set-valued and grey filtering statistical inferences on a system operating data. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v.11, n.3, p.267-278, 2005.
- GUTIÉRREZ, L. J. G.; LLORÉNS-MONTES, F. J.; SÁNCHEZ, O. F. B. Six sigma: from a goal-theoretic perspective to shared-vision development. *International Journal of Operations & Production Management*, v.29, n.2, p.151-169, 2009.
- HAHN, G. J.; DOGANAKSOY, N.; STANARD, C. Statistical tools for Six Sigma: what to emphasize and de-emphasize in training. *Quality Progress*, v.34, n.9, p.78-82, 2001.
- HAIKONEN, A.; SAVOLAINEN, T.; JÄRVINEN, P. Exploring six sigma and CI capability development: preliminary case study findings on management role. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v.15, n.4, p.369-378, 2004.

- HAN, C.; LEE, Y. H. Intelligent integrated plant operation system for Six Sigma. *Annual Reviews in Control*, v.26, p.27-43, 2002.
- HARRISON, J. S. *Administração estratégica de recursos e relacionamentos*. Tradução Luciana de Oliveira da Rocha. Porto Alegre: Bookman Editora, 2005. 430 p.
- HARRY, M. J. Abatement of business risk is key to Six Sigma: a closer link to executive thinking. *Quality Progress*, v.33, n.7, p.72-76, 2000a.
- HARRY, M. J. Six Sigma focuses on improvement rates: entitlement can be reached below target performance level. *Quality Progress*, v.33, n.6, p.76-80, 2000b.
- HE, S. et al. A new approach to performance analysis of ejector refrigeration system using Grey system theory. *Journal Applied Thermal Engineering*, 2008.
- HECK, A. *Introduction to Maple*. 3.ed. New York: Springer, 2003. 828 p.
- HENDERSON, K. M.; EVANS, J. R. Successful implementation of six sigma: benchmarking General Electric Company. *Benchmarking: An International Journal*, v.7, n.4, p.260-281, 2000.
- HENSLEY, R. L.; DOBIE, K. Assessing readiness for six sigma in a service setting. *Managing Service Quality*, v.15, n.1, p.82-101, 2005.
- HERR, K.; ANDERSON, G. L. *The action research dissertation: a guide for students and faculty*. Thousand Oaks: Sage Publications, 2005.
- HILTON, R. J.; SOHAL, A. A conceptual model for the successful deployment of Lean Six Sigma. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v.29, n.1, p.54-70, 2012.
- HOLTZ, R.; CAMPBELL, P. Six sigma: its implementation in Ford's facility management and maintenance functions. *Journal of Facilities Management*, v.2, n.4, p.320-329, 2004.
- HONG, G. Y.; GOH, T. N. Six Sigma in software quality. *The TQM Magazine*, v.15, n.6, p.364-373, 2003.
- HSIEH, Y. J.; HUANG, L. Y.; WANG, C. T. A framework for the selection of Six Sigma projects in services: case studies of banking and health care services in Taiwan. *Service Business*, v.6, p.243-264, 2012.

- HU, G. et al. A multi-objective model for project portfolio selection to implement lean and Six Sigma concepts. *International Journal of Production Research*, v.46, n.23, p.6611-6625, 2008.
- HUTCHINS, G. The branding of Six Sigma: brand yourself the same way. *Quality Progress*, v.33, n.9, p.120-121, 2000.
- INGLE, S.; ROE, W. Six sigma black belt implementation. *The TQM Magazine*, v.13, n.4, p.273-280, 2001.
- JIANG, J. C.; SHIU, M. L.; TU, M. H. DFX and DFSS: how QFD integrates them. *Quality Progress*, v.40, n.10, p.45-51, 2007.
- JOHNSON, K. Six Sigma delivers on-time service. *Quality Progress*, v.38, n.12, p.57-59, 2005.
- JULONG, D. Introduction to Grey System Theory. *The Journal of Grey System*, v.1, p.1-24, 1989.
- JUNG, J.; LIM, S. G. Project categorization, prioritization, and execution based on Six Sigma concept: a case study of operational improvement project. *Project Management Journal*, v.38, n.1, p.55-60, 2007.
- KAHRAMAN, C.; BÜYÜKÖZKAN, G. A combined fuzzy AHP and fuzzy goal programming approach for effective six-sigma project selection. *Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing*, v.14, n.6, p.214-219, 2008.
- KELLY, M. Three steps to project selection. *ASQ Six Sigma Forum Magazine*, v.2, n.1, p.29-33, 2002.
- KENDALL, J.; FULENWIDER, D. O. Six Sigma, e-commerce pose new challenges: it infrastructure needs to be in top shape. *Quality Progress*, v.33, n.7, p.31-37, 2000.
- KINDI, M. A. Normative Approach to Six Sigma Project Selection. Systems Conference (SysCon), 2011. *IEEE International*, p.189-193, 2011.
- KNOWLES, G.; JOHNSON, M.; WARWOOD, S. Medicated sweet variability: a six sigma application at a UK food manufacturer. *The TQM Magazine*, v.16, n.4, p.284-292, 2004.
- KORNFELD, B. J.; KARA, S. A framework for developing portfolios of improvements projects in manufacturing. *Forty Sixth CIRP Conference on Manufacturing Systems 2013*, p.377-382, 2013.

KORNFELD, B.; KARA, S. Selection of Lean and Six Sigma projects in industry. *International Journal of Lean Six Sigma*, v.4, n.1, p.4-16, 2013.

KUEI, C. H.; MADU, C. N. Customer-centric six sigma quality and reliability management. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v.20, n.8, p.954-964, 2003.

KUMAR, M. et al. Common myths of six sigma demystified. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v.25, n.8, p.878-895, 2008.

KUMAR, M.; ANTONY, J.; CHO, B. R. Project selection and its impact on the successful deployment of Six Sigma. *Business Process Management Journal*, v.15, n.5, p.669-686, 2009.

KUMAR, S.; STRANDLUND, E.; THOMAS, D. Improved service system design using six sigma DMAIC for a major US consumer electronics and appliance retailer. *International Journal of Retail & Distribution Management*, v.36, n.12, p.970-994, 2008.

KUMAR, S.; WOLFE, A. D.; WOLFE, K. A. Using six sigma DMAIC to improve credit initiation process in a financial services operation. *International Journal of Productivity and Performance Management*, v.57, n.8, p.659-676, 2008.

KUMAR, U. D. et al. On the optimal selection of process alternatives in a six sigma implementation. *International Journal of Production Economics*, v.11, n.1, p.456-467, 2008.

KUMAR, U. D. et al. Six sigma project selection using data envelopment analysis. *The TQM Magazine*, v.19, n.5, p.419-441, 2007.

KUMI, S.; MORROW, J. Improving self-service the Six Sigma way at Newcastle University Library. *Program: Electronic Library and Information Systems*, v.40, n.2, p.123-136, 2006.

KWAK, Y. H.; ANBARI, F. T. Benefits, obstacles, and future of six sigma approach. *Technovation*, v.26, p.708-715, 2006.

LARSON, A. *Demystifying Six Sigma*. New York: American Management Association, 2003.

LAUREANI, A.; ANTONY, J.; DOUGLAS, A. Lean six sigma in a call centre: a case study. *International Journal of Productivity and Performance Management*, v.59, n.8, p.757-768, 2010.

- LEE-MORTIMER, A. Leading UK manufacturer probes the potential of six sigma. *Assembly Automation*, v.27, n.4, p.302-308, 2007.
- LEE-MORTIMER, A. Six sigma: a vital improvement approach when applied to the right problems, in the right environment. *Assembly Automation*, v.26, n.1, p.10-17, 2006a.
- LEE-MORTIMER, A. Six sigma: effective handling of deep rooted quality problems. *Assembly Automation*, v.26, n.3, p.200–204, 2006b.
- LEEPHAKPREEDA, T. Grey prediction on indoor comfort temperature for HVAC systems. *Journal Expert Systems with Applications*, v.34, p.2284-2289, 2008.
- LI, G. D.; YAMAGUCHI, D.; NAGAI, M. Application of grey-based rough decision-making approach to suppliers selection. *Journal of Modelling in Management*, v.2, n.2, p.131-142, 2007.
- LITTLE, B. “Six sigma” techniques improve the quality of e-learning. *Industrial and Commercial Training*, v.35, n.3, p.104-108, 2003.
- LIU, S.; FORREST, J.; YANG, Y. A brief introduction to grey systems theory. *Grey Systems: Theory and Application*, v.2, n.2, p.89-104, 2012.
- LOCHER, D. In the office: where lean and Six Sigma converge. *Quality Progress*, v.40, n.10, p.54-55, 2007.
- LOCHNER, R. Volunteer trains black belts in Romania. *Quality Progress*, v.38, n.4, p.67-73, 2005.
- LUCAS, J. M. The essential Six Sigma: how successful Six Sigma implementation can improve the bottom line. *Quality Progress*, v.35, n.1, p.27-31, 2002.
- LYNCH, D. P.; BERTOLINO, S.; CLOUTIER, E. How to scope DMAIC projects: the importance of the right objective cannot be overestimated. *Quality Progress*, v.36, n.1, p.37-41, 2003.
- MADER, D. P. Axiomatic design and DFSS. *Quality Progress*, v.38, n.8, p.77-80, 2005.
- MADER, D. P. Design for Six Sigma: you need more than standard Six Sigma approaches to optimize your product or service development. *Quality Progress*, v.35, n.7, p.82-86, 2002.
- MADER, D. P. DFSS and your current design process. *Quality Progress*, v.36, n.7, p.88-89, 2003.

- MADER, D. P. How to identify and select Lean Six Sigma projects. *Quality Progress*, v.40, n.7, p.58-60, 2007.
- MADER, D. P. Lean Six Sigma's evolution: integrated method uses different deployment models. *Quality Progress*, v.41, n.1, p.40-48, 2008a.
- MADER, D. P. Selecting design for Six Sigma projects. *Quality Progress*, v.37, n.7, p.65-70, 2004.
- MADER, D. P. What comes after the Low-hanging Fruit? Making smart choices about Lean six Sigma applications. *Quality Progress*, v.41, n.8, p.58-60, 2008b.
- MAHANTI, R.; ANTONY, J. Confluence of six sigma, simulation and software development. *Managerial Auditing Journal*, v.20, n.7, p.739-762, 2005.
- MALEYEFF, J.; KRAYENVENGER, D. E. Goal setting with six sigma mean shift determination. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, v.76, n.6, p.577-583, 2004.
- MANVILLE, G. et al. Critical success factors for Lean Six Sigma programmes: a view from middle management. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v.29, n.1, p.7-20, 2012.
- MARQUES, P. et al. Integrating Six Sigma with ISO 9001. *International Journal of Lean Six Sigma*, v.4, n.1, p.36-59, 2013.
- MAST, J.; BISGAARD, S. The science in Six Sigma. *Quality Progress*, v.40, n.1, p.25-29, 2007.
- McADAM, R.; LAFFERTY, B. A multilevel case study critique of six sigma: statistical control or strategic change? *International Journal of Operations & Production Management*, v.24, n.5, p.530-549, 2004.
- McCARTY, T. D.; FISHER, S. A. Six sigma: it is not what you think. *Journal of Corporate Real Estate*, v.9, n.3, p.187-196, 2007.
- MCNIFF, J.; WHITEHEAD, J. *All you need to know about action research*. 2.ed. London: Sage Publications, 2011.
- MELLAT-PARAST, M.; JONES, E. C.; ADAMS, S. G. Six Sigma and Baldrige: a quality alliance. *Quality Progress*, v.40, n.9, p.45-51, 2007.

MIGUEL, P. A. C. (organizador). *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

MIGUEL, P. A. C., CARVALHO, M. M. Benchmarking six sigma implementation in services companies operating in an emerging economy. *Benchmarking: An International Journal*, v.21, n.1, 2014.

MIGUEL, P. A. C.; ANDRIETTA, J. M. Benchmarking six sigma application in Brazil: best practices in the use of the methodology. *Benchmarking: An International Journal*, v.16, n.1, p.124-134, 2009.

MILIVOJEVICH, A. Emotional intelligence and Six Sigma. *Quality Progress*, v.39, n.8, p.45-49, 2006.

MITRA, A. Six sigma education: a critical role for academia. *The TQM Magazine*, v.16, n.4, p.293-302, 2004.

MOREIRA, D. A. *Administração da produção e operações*. 2.ed. rev. e ampl. São Paulo: Cengage Learning, 2008. 624 p.

MOTWANI, J.; KUMAR, A.; ANTONY, J. A business process change framework for examining the implementation of six sigma: a case study of Dow Chemicals. *The TQM Magazine*, v.16, n.4, p.273-283, 2004.

MUNRO, R. A. Linking Six Sigma with QS-9000: auto industry adds new tool for quality improvement. *Quality Progress*, v.33, n.5, p.47-53, 2000.

NÄSLUND, D. Lean, six sigma and lean sigma: fads or real process improvement methods? *Business Process Management Journal*, v.14, n.3, p.269-287, 2008.

NAVE, D. How to compare Six Sigma, Lean and the Theory of Constraints: a framework for choosing what's best for your organization. *Quality Progress*, v.35, n.3, p.73-78, 2002.

NEUSCHELER-FRITSCH, D.; NORRIS, R. Capturing financial benefits from Six Sigma: five lessons learned will resonate with top management. *Quality Progress*, v.34, n.5, p.39-44, 2001.

NONTHALEERAK, P.; HENDRY, L. Exploring the six sigma phenomenon using multiple case study evidence. *International Journal of Operations & Production Management*, v.28, n.3, p.279-303, 2008.

O'NEILL, M.; DUVALL, C. A six sigma quality approach to workplace evaluation. *Journal of Facilities Management*, v.3, n.3, p.240-253, 2005.

- PADHY, R. K.; SAHU, S. A Real Option based Six Sigma project evaluation and selection model. *International Journal of Project Management*, v.29, n.8, p.1091-1102, 2011.
- PANDE, P. S.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. R. *Estratégia Seis Sigma: como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho*. Tradução Cristina Bazán Tecnologia e Linguística. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2001. 442 p.
- PANDE, P. S.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. R. *The Six Sigma way: how GE, Motorola, and other top companies are honing their performance*. New York: McGraw-Hill, 2000. 422 p.
- PANDEY, A. Strategically focused training in six sigma way: a case study. *Journal of European Industrial Training*, v.31, n.2, p.145-162, 2007.
- PARODY, R. J.; VOELKEL, J. G. Six Sigma start-up at small companies. *Quality Progress*, v.39, n.5, p.68-69, 2006.
- PATTON, F. Does Six Sigma work in service industries? *Quality Progress*, v.38, n.9, p.55-60, 2005.
- PESTORIUS, M. S. Apply Six Sigma to sales and marketing. *Quality Progress*, v.40, n.1, p.19-24, 2007.
- PFEIFER, T.; RESSIGER, W.; CANALES, C. Integrating six sigma with quality management systems. *The TQM Magazine*, v.16, n.4, p.241-249, 2004.
- PHILLIPS-DONALDSON, D. Six Sigma: a false God? *Quality Progress*, v.36, n.1, p.6-6, 2003.
- PRABHUSHANKAR, G. V. et al. The origin, history and definition of Six Sigma: a literature review. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, v.4, n.2, p.133-150, 2008.
- PYZDEK, T. *Selecting six sigma projects*. Quality Digest, available at: [www.qualitydigest.com/sept00/html/sixsigma.html](http://www.qualitydigest.com/sept00/html/sixsigma.html) (accessed 16 March 2005), 2000.
- PYZDEK, T. *The Six Sigma Project Planner*. New York: McGraw-Hill, 2003.
- RAISINGHANI, M. S. et al. Six sigma: concepts, tools, and applications. *Industrial Management & Data Systems*, v.105, n.4, p.491-505, 2005.

- RAY, S.; DAS, P. Six Sigma project selection methodology. *International Journal of Lean Six Sigma*, v.1, n.4, p.293-309, 2010.
- RAY, S.; DAS, P.; BHATTACHARYA, B. K. Prevention of industrial accidents using Six Sigma approach. *International Journal of Lean Six Sigma*, v.2, n.3, p.196-214, 2011.
- REIDENBACH, R. E.; GOEKE, R. W. Six Sigma, value and competitive strategy. *Quality Progress*, v.40, n.7, p.45-49, 2007.
- REVERE, L.; BLACK, K.; HUQ, A. Integrating six sigma and CQI for improving patient care. *The TQM Magazine*, v.16, n.2, p.105-113, 2004.
- RODRIGUES, M. V. C. *Ações para a qualidade: GEIQ, gestão integrada para a qualidade: padrão Seis Sigma, classe mundial*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2004. 234 p.
- ROOS, C. *Modelo de controle do desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua*. 2009. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.
- ROOS, C.; ROSA, L. C. da. Ferramenta FMEA: estudo comparativo entre três métodos de priorização. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28., 2008, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: Abepro, 2008. 1 CD-ROM.
- ROTONDARO, R. G. (Coord.) *Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços*. São Paulo: Atlas, 2002. 375 p.
- RUDISILL, F.; DRULEY, S. Which Six Sigma metric should I use? *Quality Progress*, v.37, n.3, p.104-104, 2004.
- RYAN, T. P. *Estatística Moderna para Engenharia*. Tradução Luiz Cláudio de Queiroz Faria. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011. 325 p.
- SAGHAEI, A.; DIDEHKHANI, H. Developing an integrated model for the evaluation and selection of six sigma projects based on ANFIS and fuzzy goal programming. *Expert Systems with Applications*, v.38, p.721-728, 2011.
- SAVOLAINEN, T.; HAIKONEN, A. Dynamics of organizational learning and continuous improvement in six sigma implementation. *The TQM Magazine*, v.19, n.1, p.6-17, 2007.

- SEHWAIL, L. & DEYONG, C. Six sigma in health care. *International Journal of Health Care Quality Assurance*. v.16, n.4, p.i-v, 2003.
- SEKHAR, H.; MAHANTI, R. Confluence of Six Sigma, simulation and environmental quality. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, v.17, n.2, p.170-183, 2006.
- SENAPATI, N. R. Six sigma: myths and realities. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v.21, n.6, p.683-690, 2004.
- SENTURK, D. et al. Detect financial problems with Six Sigma. *Quality Progress*, v.39, n.4, p.41-47, 2006.
- SETIJONO, D. DisPMO and DePMO as six sigma-based forward-looking quality performance measures. *The TQM Magazine*, v.20, n.6, p.588-598, 2008.
- SHAHABUDDIN, S. Six Sigma: issues and problems. *Int. J. Productivity and Quality Management*, v.3, n.2, p.145-160, 2008.
- SHANMUGARAJA, M.; NATARAJ, M.; GUNASEKARAN, N. Six Sigma project selection via quality function deployment. *International Journal of Productivity and Quality Management*, v.10, n.1, p.85-111, 2012.
- SHARMA, S.; CHETIYA, A. R. An analysis of critical success factors for Six Sigma implementation. *Asian Journal on Quality*, v.13, n.3, p.294-308, 2012.
- SHARMA, S.; CHETIYA, A. R. Six Sigma project selection: an analysis of responsible factors. *International Journal of Lean Six Sigma*, v.1, n.4, p.280-292, 2010.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da produção*. Tradução Maria Teresa Corrêa de Oliveira, Fábio Alher. Revisão técnica Henrique Luiz Corrêa 2.ed. São Paulo: Atlas, 2002. 747 p.
- SMITH, B. Lean and Six Sigma: a one-two punch. *Quality Progress*, v.36, n.4, p.37-41, 2003.
- SNEE, R. D. Dealing with the Achilles' heel of Six Sigma initiatives: project selection is key to success. *Quality Progress*, v.34, n.3, p.66-72, 2001.
- SNEE, R. D. Eight essential tools. *Quality Progress*, v.36, n.12, p.86-88, 2003a.

- SNEE, R. D. Six Sigma improves both statistical training and processes. *Quality Progress*, v.33, n.10, p.68-72, 2000.
- SNEE, R. D. Six Sigma: the evolution of 100 years of business improvement methodology. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, v.1, n.1, p.4-20, 2004.
- SNEE, R. D. The Six Sigma sweep. *Quality Progress*, v.36, n.9, p.76-80, 2003b.
- SNEE, R. D. Weave Six Sigma into the fabric of an organization. *Quality Progress*, v.37, n.9, p.69-72, 2004.
- SNEE, R. D. When worlds collide: Lean and Six Sigma. *Quality Progress*, v.38, n.9, p.63-65, 2005.
- SONY, M.; NAIK, S. Successful implementation of Six Sigma in services: an exploratory research in India Inc. *International Journal of Business Excellence*, v.4, n.4, p.399-419, 2011.
- SOTI, A.; KAUSHAL, O. P.; SHANKAR, R. Modeling the barriers of Six Sigma using interpretive structural modeling. *International Journal of Business Excellence*, v.4, n.1, p.94-110, 2011.
- STAMATIS, D. H. *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from theory to execution*. 2.ed. Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press, 2003.
- SU, C. T.; CHOU, C. J. A systematic methodology for the creation of Six Sigma projects: A case study of semiconductor foundry. *Expert Systems with Applications*, v.34, p.2693-2703, 2008.
- TANER, M. T.; SEZEN, K.; ANTONY, J. An overview of six sigma applications in healthcare industry. *International Journal of Health Care Quality Assurance*, v.20, n.4, p.329-340, 2007.
- TANNOCK, J. D. T.; BALOGUN, O.; HAWISA, H. A variation management system supporting six sigma. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v.18, n.5, p.561-575, 2007.
- THEVNIN, C. Effective management commitment enhances six sigma success. *Handbook of Business Strategy*, v.5, n.1, p.195-200, 2004.
- THIOLLENT, M. *Pesquisa-ação nas organizações*. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2009.

THOMAS, A.; BARTON, R. Developing an SME based six sigma strategy. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v.17, n.4, p.417-434, 2006.

THOMAS, A.; BARTON, R.; BYARD, P. Developing a Six Sigma maintenance model. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v.14, n.3, p.262-271, 2008.

THOMAS, A.; BARTON, R.; CHUKE-OKAFOR, C. Applying lean six sigma in a small engineering company: a model for change. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v.20, n.1, p.113-129, 2009.

TJAHJONO, B. et al. Six Sigma: a literature review. *International Journal of Lean Six Sigma*, v.1, n.3, p.216-233, 2010.

TKÁC, M.; LYÓCSA, S. On the Evaluation of Six Sigma Projects. *Quality and Reliability Engineering International*, v.26, p.115-124, 2009.

TREICHLER, D. et al. Design for Six Sigma: 15 lessons learned: leading corporations find out how to avoid pitfalls. *Quality Progress*, v.35, n.1, p.33-42, 2002.

TYLUTKI, T. P.; FOX, D. G. Moooving toward Six Sigma: a quality management program helps one farm manage its feed costs. *Quality Progress*, v.35, n.2, p.34-41, 2002.

VOELKEL, J. G. What is 3.4 per million? *Quality Progress*, v.37, n.5, p.63-65, 2004.

VOELKEL, J. G. What makes a Six Sigma project successful? *Quality Progress*, v.38, n.5, p.66-68, 2005.

VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case research in operations management. *International Journal of Operations & Production Management*, v.22, n.2, p.195-219, 2002.

WANG, C. C.; LIN, T. W.; HU, S. S. Optimizing the rapid prototyping process by integrating the Taguchi method with the Grey relational analysis. *Rapid Prototyping Journal*, v.13, n.5, p.304-315, 2007.

WANG, C; HSU, L. Using genetic algorithms Grey theory to forecast high technology industrial output. *Applied Mathematics and Computation*, n.195, p.256-263, 2008.

- WATSON, G. H. Toward a central tendency on Six Sigma: a reasonable middle ground is starting to emerge. *Quality Progress*, v.33, n.7, p.16-16, 2000.
- WEI, C. H.; CHUNG, M. C. Grey statistics method of technology selection for advanced public transportation systems – The experience of Taiwan. *National Science Council of Taiwan*, v.27, n.2, 2003.
- WESSEL, G.; BURCHER, P. Six sigma for small and medium-sized enterprises. *The TQM Magazine*, v.16, n.4, p.264-272, 2004.
- WRIGHT, J.; BASU, R. Project management and Six Sigma: obtaining a fit. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, v.4, n.1, p.81-94, 2008.
- XIZHE, Z. et al. The method of gray model control for the vibration of rotor system. *Kybernetes*, v.33, n.2, p.464-469, 2004.
- YANG, H. M. et al. Supply chain management six sigma: a management innovation methodology at the Samsung Group. *Supply Chain Management: An International Journal*, v.12, n.2, p.88-95, 2007.
- YANG, T.; HSIEH, C. H. Six-Sigma project selection using national quality award criteria and Delphi fuzzy multiple criteria decision-making method. *Expert Systems with Applications*, v.36, p.7594-7603, 2009.
- YIN, R. K. *Case study research: design and methods*. 3.ed. (Applied social research methods v.5). Thousand Oaks: Sage Publications, 2009.
- YUEHUA, C.; WEI, Y. Study on investment scale control of urban construction process by the method of grey systems. *Kybernetes*, v.37, n.9/10, p.1272-1278, 2008.
- ZHANG, S.; CHEN, M. The characteristics analysis of SCGM (1,1) model and the new grey modeling methods. *Kybernetes*, v.33, n.2, p.453-463, 2004.
- ZINKGRAF, S. A. An overview of operational excellence and Six Sigma in Allied Signal. *ASQ's 52th Annual Quality Congress Proceeding*, p.173-175, 2000.

Tese apresentada ao Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia de Produção,  
Departamento de Engenharia de Produção e  
Sistemas, do Centro Tecnológico da  
Universidade Federal de Santa Catarina, como  
requisito para obtenção do Título de Doutor em  
Engenharia de Produção

Orientador: Edson Pacheco Paladini  
Coorientadora: Linda Lee Ho

Florianópolis, 2014